

Aus der Poliklinik
für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Untersuchung über die Abnutzung von Küretten

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Jasmin Zwirlein
aus München
2017

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Mitberichterstatter:	Priv.-Doz. Dr. Jan-Frederik Güth
Mitbetreuung durch die promovierten Mitarbeiter:	Dr. Alexander Crispin Dr. Peter Wöhl
Dekan:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Tag der mündl. Prüfung:	23.02.2017

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. <u>Einleitung</u>	1
2. <u>Literaturübersicht</u>	3
2.1 Klassifizierung der Parodontalerkrankungen	3
2.2 Klinisches Bild plaquebedingter Läsionen	6
2.3 Risikofaktoren für Parodontalerkrankungen	7
2.4 Biofilme und Entstehung von Parodontitiden	9
2.4.1 Pellikel	10
2.4.2 Entwicklung von Zahnplaque	11
2.4.3 Bildung von Zahnstein und Konkrementen	12
2.4.4 Mit Gingivitis assoziierte Mikroorganismen	13
2.4.5 Die Rolle bestimmter Bakterien bei Parodontitis	14
2.4.6 Mikrobiell bedingte Destruktionen	16
2.4.7 Problematik der Bekämpfung einer Biofilminfektion	18
2.5 Parodontaltherapie	19
2.5.1 Prävention und Screening	19
2.5.2 Grundsätze der Therapie	22
2.5.3 Vergleich von Ultraschall- und Handinstrumenten	27
2.6 Handinstrumente: Gracey-Küretten	41
2.6.1 Beschaffenheit und Handhabung	41
2.6.2 Qualität der Küretten	45
2.6.3 Notwendigkeit des Schärfens und Schleifens	48
2.6.4 Schleiftechniken	49
2.7 Herkömmliches Kürettenmaterial	53
2.8 Methoden zur Verbesserung des Verschleißverhaltens in der Industrie	55

2.9	Vergütete Küretten	56
2.9.1	Mechanismus kryogener Vergütung	57
2.9.2	Angaben der Kürettenhersteller	61
2.10	Küretten mit Beschichtung	62
2.10.1	Prozesse zur Oberflächenbeschichtung mit Titannitrid	62
2.10.2	Werbeaussagen der Hersteller	65
2.11	Unabhängige Studien über neuartige Küretten	69
3.	<u>Material und Methode</u>	71
3.1	Verwendete Küretten	71
3.1.1	Edelstahlküretten	73
3.1.2	Kryogen vergütete Küretten	74
3.1.3	Titannitrid-beschichtete Küretten	74
3.1.4	Fragestellung der vorliegenden Studie	74
3.2	Aufbau der klinischen Studie	75
3.2.1	Ablauf	75
3.2.2	Behandler und Patienten	76
3.3	OP-Mikroskop	78
3.4	Definition der Schärfegrade	79
3.5	Dokumentation	82
3.5.1	Dokumentationstabelle	82
3.5.2	Fotografien	83
3.6	Vergleich der Ergebnisse der klinischen Studie	84
3.7	Aufbau des standardisierten Versuchs	86
4.	<u>Ergebnisse</u>	93
4.1	Auswertung der klinischen Studie	93
4.1.1	Überblick	93
4.1.2	Häufigkeitsereignis der drei Schärfegrade	94

4.1.3	Sichtbare Defekte bei mechanisch scharfen Schneidekanten	114
4.1.4	Gleichmäßige und ungleichmäßige Abnutzung der Schneidekante	115
4.1.5	Auswirkung der unterschiedlichen Intensitäten des Küretteneinsatzes	118
4.1.6	Endzustand der Küretten nach zehn Einsätzen	127
4.1.7	Betriebswirtschaftliche Betrachtung der Küretten nach zehn Einsätzen	131
4.2	Auswertung des standardisierten Versuchs	136
4.3	Zusammenfassende wirtschaftliche Betrachtung	143
5.	<u>Diskussion</u>	148
5.1	Studiendesign	148
5.1.1	Anmerkungen zur klinischen Studie	148
5.1.2	Anmerkungen zum standardisierten Versuch	151
5.2	Frühere Studien im Vergleich	152
5.3	Ist der höhere Preis gerechtfertigt?	155
5.4	Fazit	159
5.5	Ausblick	161
6.	<u>Zusammenfassung</u>	165
7.	<u>Literaturverzeichnis</u>	167
8.	<u>Anhang</u>	176
8.1	Zur klinischen Studie	176
8.2	Zum standardisierten Versuch	178
9.	<u>Danksagung</u>	179

1 Einleitung

In der Parodontitistherapie ist die Elimination des bakteriellen Biofilms, welcher meist für die Erkrankung verantwortlich ist, eines der wesentlichen Behandlungsziele. Neben der Anleitung und Motivation des Patienten zu einer suffizienten Mundhygiene ist die gründliche Entfernung aller supra- und subgingivalen Ablagerungen auf den Zahn- und Wurzeloberflächen wichtig (Badersten et al. 1981, Carranza 1990, Drisko et al. 2000 a). Zur Zahn- und Wurzeloberflächenreinigung werden neben verschiedenen maschinellen Verfahren nach wie vor Handinstrumente eingesetzt. Handinstrumente gelten aufgrund jahrzehntelanger Erfahrung in der Parodontitistherapie als Goldstandart (Tunkel et al. 2002), da sie taktiler eingesetzt werden können (Benfenati et al. 1987). Beispielsweise bei Patienten mit Herzschrittmachern oder internen Defibrillatoren wird die Anwendung von Handinstrumenten ausdrücklich empfohlen (Petersilka und Stypmann 2015).

Ein gutes Behandlungsergebnis ist, neben der Sorgfalt und Systematik der Reinigung (Carranza 1990, Pattison und Pattison 1992), auch von der Qualität des eingesetzten Instrumentariums abhängig (Ruben et al. 1973). Mehrere Studien (Benfenati et al. 1987, Paquette et al. 1977, Tal et al. 1985) sowie Hersteller (Hu-Friedy 2012 a, American Eagle 2012) empfehlen scharfe Handinstrumente, um eine suffiziente Reinigung zu erzielen. Bei stumpfen Instrumenten verbleiben häufiger Ablagerungen am Zahn, die oftmals nur eine Art Politur erfahren (Benfenati et al. 1987). Dies verringert den Behandlungserfolg und erhöht die Rezidivwahrscheinlichkeit.

Damit die Schneidekanten scharf bleiben, empfehlen Kürettenhersteller wie Hu-Friedy und American Eagle, Edstahlinstrumente nach jedem Einsatz zu schärfen. Das Schärfen von Küretten ist jedoch zeitaufwendig und bewirkt einen weiteren Verschleiß der Handinstrumente

(Zappa et al. 1991 b). Seitens der Industrie werden deshalb seit einigen Jahren Küretten angeboten, die speziell gehärtet oder mit Titannitrid beschichtet wurden. Die neuartigen Schneidekanten sollen sich weniger schnell abnutzen und über eine längere Lebensdauer verfügen. Teilweise wird auch damit geworben, man müsse die Instrumente „nie mehr schleifen“ (American Eagle 2012). Diese neuartigen Parodontalinstrumente sind im Vergleich zu üblichen Küretten aber teilweise deutlich teurer. Bisher ist nicht bekannt, ob sich die Anschaffung dieser speziellen Küretten lohnt und ein häufiges Schleifen und Schärfen der Instrumente tatsächlich entfällt.

In der vorliegenden Arbeit wurden Küretten von verschiedenen Herstellern im Rahmen einer klinischen Studie wiederholt zur Parodontalbehandlung eingesetzt, um das Stumpfwerden der Schneidekanten zu erfassen. An einer Apparatur wurde dann unter standardisierten Bedingungen die Wurzelreinigung und –glättung simuliert, um zusätzliche Informationen zur Abstumpfung der Schneidekanten zu erhalten. Neben üblichen Edelstahlküretten von den Herstellern Aesculap, American Eagle, Carl Martin, Deppeler und Hu-Friedy wurden kryogen behandelte Küretten der Hersteller Hu-Friedy und LM sowie Titannitrid-beschichtete Küretten von American Eagle untersucht.

2 Literaturübersicht

2.1 Klassifizierung der Parodontalerkrankungen

Die Diagnose der parodontalen Erkrankung ist eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Behandlung des betroffenen Patienten. Sie stellt den ersten Schritt zu einem individuell passenden Behandlungsplan dar (Armitage 2004). Die Beurteilung des Zustands von Gingiva und Parodont erfolgt anhand der Klassifizierung der American Academy of Periodontology (Armitage 1999, Tabelle 1).

Bei den gingivalen Erkrankungen werden plaquebedingte Läsionen von Gingivitiden anderer Ätiologie (z.B. ausgelöst durch spezifische Bakterien, Viren, allergische Reaktionen oder Pilzbefall) abgegrenzt. Allein durch die Ansammlung mikrobieller Plaque am marginalen Gingivasaum kann durch den direkten Kontakt der Gingiva mit einer Vielzahl teils pathogener Keime eine Entzündungsreaktion induziert werden. Spielen zusätzlich systemische Faktoren, Medikamente oder Mangelernährung eine Rolle, liegt eine modifizierte Form der plaquebedingten Gingivitis vor.

Bei der Parodontitis werden chronische, langsam verlaufende Formen von aggressiven Parodontitiden mit akutem und raschem Verlauf unterschieden. Sind dabei über 30 % der Parodontien betroffen, handelt es sich um eine generalisierte Form der Erkrankung, indes, wenn weniger als 30 % der Parodontien betroffen sind, eine lokalisierte Form vorliegt.

Des Weiteren unterscheidet man Erkrankungen des Parodonts, welche als Manifestation einer Systemerkrankung auftreten. Hierzu zählen nekrotisierende Formen, Abszesse, Läsionen des Parodonts in Verbindung mit endodontischen Entzündungen sowie entwicklungsbedingte Störungen (Armitage 1999).

Im Praxisalltag ist die plaquebedingte Entzündung der marginalen Gingiva am häufigsten aufzufinden. Nicht jede plaqueinduzierte Gingivitis führt

zwangsläufig zur Parodontitis, jedoch ist eine plaquebedingte Entzündungsreaktion der Gingiva in der Regel die Voraussetzung für eine Parodontitis marginalis (Carranza 1990). In seltenen Fällen, in denen eine andere Entstehungsursache vermutet wird, stellen mikrobiologische Plaqueproben, Biopsien des Gewebes sowie die enge Zusammenarbeit mit Allgemeinmedizinerinnen oder beispielsweise Endokrinologinnen weitere Möglichkeiten der Diagnosefindung dar (Armitage 2004).

Klassifizierung der parodontalen Erkrankungen	
Gingivale Erkrankungen	Plaqueebedingte Gingivaerkrankungen: <ul style="list-style-type: none"> • Rein plaqueebedingte Gingivitis mit und ohne lokale Reizfaktoren • Gingivitis modifiziert durch systemische Faktoren assoziiert mit dem endokrinen System (z.B. Pubertät, Menstruation, Schwangerschaft, Diabetes mellitus) • Gingivitis modifiziert durch systemische Faktoren assoziiert mit Bluterkrankungen (z.B. Leukämie) • Medikamentenbedingte Gingivitis und Hyperplasie • Gingivitis modifiziert durch Mangelernährung (z.B. Vitamin-C-Mangel)
	Nicht plaqueebedingte Gingivaerkrankungen: <ul style="list-style-type: none"> • Spezifische bakterielle Ursache (z.B. Neisseria gonorrhoeae, Treponema pallidum) • Virale Ursache (z.B. oraler Herpes, Varicella zoster) • Pilzbedingte Gingivaerkrankungen (z.B. Candida, lineares gingivales Erythem, Histoplasmose) • Genetische Ursache (z.B. hereditäre Gingivafibromatose) • Gingivale Manifestation systemischer Erkrankungen (z.B. Lichen ruber planus, Pemphigoid, Pemphigus vulgaris, Lupus erythematodes) • Allergische Reaktionen (z.B. Quecksilber, Nickel) • Traumatische Läsionen (chemisch, mechanisch, thermisch) • Fremdkörperreaktionen • Andere Gingivaerkrankungen
Chronische Parodontitis	Lokalisiert
	Generalisiert
Aggressive Parodontitis	Lokalisiert
	Generalisiert
Parodontitis als Manifestation einer Systemerkrankung	Bluterkrankungen (z.B. Neutropenie, Leukämie)
	Genetische Störungen (z.B. Down-Syndrom, Papillon-Lefèvre-Syndrom)
	Übrige Erkrankungen
Nekrotisierende Parodontalerkrankungen	Nekrotisierende ulzerierende Gingivitis (NUG)
	Nekrotisierende ulzerierende Parodontitis (NUP)
Abszesse	Gingivaler Abszess
	Parodontaler Abszess
	Perikoronaler Abszess
Paro-Endo-Läsionen	Gleichzeitiges Vorliegen von parodontaler und endodontischer Entzündung
Entwicklungsbedingte Störungen und Zustände	Lokale zahnbedingte modifizierende Faktoren (Zahnanatomie, Rekonstruktionen, Wurzelfrakturen, Wurzelresorptionen)
	Mukogingivale Probleme im Bereich von Zähnen (z.B. Rezessionen, Fehlen der keratinisierten Gingiva, störende Frenula, Pseudotaschen)
	Mukogingivale Probleme im zahnlosen Bereich
	Okklusales Trauma

Tabelle 1: Einteilung der parodontalen Erkrankungen (Armitage 1999)

2.2 Klinisches Bild plaquebedingter Läsionen

Die plaquebedingte Gingivitis ist die häufigste Form der gingivalen Erkrankungen. Sie hat als Entzündungsreaktion auf die in der Plaque befindlichen Keime primär defensiven Charakter. Eine Initialläsion muss klinisch noch nicht sichtbar sein, weist aber bereits eine wachsende Anzahl von Entzündungsinfiltraten im Gewebe sowie beginnenden Kollagenabbau auf. Zu den ersten klinischen Anzeichen einer Gingivitis gehören die erhöhte Fließrate der Sulkusflüssigkeit sowie die gingivale Blutung auf leichtes Berühren mit der parodontalen Sonde. Histopathologisch korrespondiert dies mit einer durch die Entzündungsreaktion induzierten Dilatation der Kapillargefäße und einer Ausdünnung des Sulkusepithels. Je ausgeprägter die Entzündung ist, desto leichter ist eine Blutung der Gingiva auslösbar und desto länger und stärker hält sie an. Bei fortschreitendem Krankheitsverlauf kommt es zu Lymphozyteninfiltraten und einem oberflächlichen Zellverlust, was sich klinisch durch eine Sulkusvertiefung bemerkbar macht (Carranza 1990).

Weitere wichtige Kriterien zur Diagnose einer Gingivitis stellen Farbe, Oberflächenbeschaffenheit und Form der Gingiva dar. Eine gesunde Gingiva ist normalerweise zart pink gefärbt. Bei einer Entzündung kommt es durch die Proliferation der Blutgefäße zu einer intensivroten Färbung der Gingiva, welche durch das Durchschimmern kleinster Venen durch das dünnere Epithel auch leicht bläulich erscheinen kann. Diese Farbveränderungen sind charakteristischerweise zuerst an den interdentalen Papillen und am Gingivasaum zu beobachten. Auch ein Verlust der matten, leicht gestippten Oberflächenbeschaffenheit der Gingiva, wie sie beim Gesunden vorkommt, ist ein wichtiger Hinweis auf einen entzündlichen Prozess. Stattdessen erscheint das entzündete Zahnfleisch meist prall, glatt und glänzend (Carranza 1990).

Durch die Ausbreitung der plaquebedingten Zahnfleischentzündung in das Parodontium mit chronisch-exazerbierenden Destruktionen entsteht eine marginale Parodontitis. Die gingivale Entzündung breitet sich dabei

entlang der Kollagenfaserbündel und Blutgefäße in die Tiefe des Alveolarknochens und des parodontalen Ligaments aus. Dies ist verbunden mit einer Veränderung des bakteriellen Milieus in der Zahnfleischtasche. Die kommensalen Keime werden dabei durch gramnegative Bakterien und Spirochäten verdrängt. Die Mikroorganismen leiten die pathologischen Veränderungen des Gewebes und die Vertiefung der Zahnfleischtasche ein. Entzündlich-resorptive Prozesse im Knochen und im bindegewebigen Zahnhalteapparat führen schließlich zum Hauptsymptom der Parodontitis, dem Attachmentverlust. Wichtige diagnostische Parameter sind deshalb die Sondierung der Taschentiefen an den betroffenen Zähnen und die röntgenologische Bestimmung des Ausmaßes des Knochenverlusts. Starke, entzündlich bedingte Blutungen auf Sondierung der Taschen, die Lockerung und Wanderung von Zähnen sowie teils eitriges Sulkusexsudat begleiten das Krankheitsbild (Carranza 1990).

Die Progression einer marginalen Parodontitis verläuft schubweise, wobei in den akuten Phasen die Osteoklastentätigkeit und somit der Knochenabbau durch die Entzündung stark angeregt wird (Carranza 1990). Der Kollagenabbau der dentoalveolären Fasern geschieht zum Großteil durch körpereigene Zellen und Enzyme des Immunsystems. Diese heftige Immunreaktion ist eine Schutzreaktion des Körpers, da eine Ausbreitung der hochpathogenen Infektion notfalls durch die Exfoliation des ursächlichen Zahns verhindert wird (Newman et al. 1990).

2.3 Risikofaktoren für Parodontalerkrankungen

Parodontalerkrankungen stellen die komplexe Antwort des Immunsystems auf eine Vielzahl von lokalen und systemischen Einflussfaktoren dar. Subgingivale Biofilme sind dabei der wichtigste ätiologische Faktor, da sie die relevanten Keime in direkten und dauerhaften Kontakt mit dem Parodont bringen (Carranza 1990). Die mikrobielle Plaque führt zur

Irritation des Gewebes, was durch unterschiedlichste Faktoren zusätzlich beeinflusst werden kann:

Insuffiziente und überstehende Restaurationsränder, festsitzende kieferorthopädische Apparaturen, Zahnfehlstellungen und ein Verlust der Approximalkontakte bei nicht versorgten Lücken in der Zahnreihe können eine effektive Plaquekontrolle durch die häusliche Mundhygiene beeinträchtigen. Eine habituelle Mundatmung, verursacht durch eine Fehlstellung der Kiefer oder durch eine behinderte Nasenatmung, verringert durch den austrocknenden Effekt die Widerstandsfähigkeit der oralen Mukosa und fördert die Akkumulation von Plaque. Ein Fortschreiten der Parodontitis kann durch okklusale Traumata sowie durch Bruxismus gefördert werden. Ebenso wirken sich das Alter des Patienten, sein Ernährungszustand sowie psychosomatische Einflüsse auf die Immunlage des Parodonts aus und können mitunter eine Erkrankung begünstigen (Carranza 1990, Goldman und Cohen 1973). Im Tierexperiment ließ sich ein enger Zusammenhang zwischen chronischem Stress und der Vertiefung der parodontalen Taschen nachweisen (Shklar 1966). Eine wichtige Rolle kommt auch dem Nikotinabusus zu. Tabakrauch schädigt die Immunabwehr durch Verringerung der Phagozytosefähigkeit polymorphkerniger Granulozyten (Kenney et al. 1977). Ebenso kommt es zu einer chronischen Verringerung der Anzahl von Kapillaren im gingivalen Gewebe und dadurch zur Verringerung des Sauerstoffgehalts, was die Mikroflora in den parodontalen Taschen verändert (Palmer 2005).

Der Verlauf einer plaquebedingten Parodontalerkrankung kann auch durch systemische Faktoren wie beispielsweise durch schlecht eingestellten Diabetes mellitus oder eine Schwangerschaft beeinflusst werden. Bei systemischen Erkrankungen wie Leukämie kommt es zu fulminanten Verläufen mit Hyperplasien und entzündlichen Reaktionen der Gingiva aufgrund der verminderten Immunabwehr (Carranza 1990).

Auch eine HIV-Infektion, insbesondere wenn es zum Zusammenbruch der Immunabwehr kommt, zeigt sich mit oralen Symptomen. Durch die

herabgesetzte Immunabwehr schreiten gingivale und parodontale Krankheitsbilder schnell voran. Auffallend sind die atypische Klinik parodontaler Läsionen, persistierende Ulcera und ein schlechtes Ansprechen auf konventionelle Therapien. Eine Abnahme der oralen Krankheitsbilder unter antiretroviraler Therapie kann als Marker einer erfolgreichen Eindämmung der Infektion dienen (Ryder et al. 2012).

Ein Zusammenspiel der bakteriellen Flora, deren Pathogenität und einer herabgesetzten Immunabwehr des oralen Weichgewebes begünstigt die Entstehung der äußerst schmerzhaften nekrotisierenden ulzerierenden Gingivitis (NUG). Das klinische Bild ist durch nekrotisches Gewebe und Ulzerationen der marginalen Gingiva geprägt. Häufig sind kachektische Patienten mit Leukämien, Krebserkrankungen, Syphilis oder AIDS betroffen. Eine vorliegende Gingivitis, Verletzungen der Gingiva und Nikotinabusus gelten als wichtige prädisponierende Faktoren. Oft sind auch bestehende chronische Parodontitiden aufzufinden (Carranza 1990, Horning und Cohen 1995).

Bei der aggressiven Parodontitis sind die ursächlichen Faktoren noch nicht gänzlich erforscht. Die früher als juvenile Parodontitis bezeichnete Erkrankung ist definiert als Parodontalerkrankung bei ansonsten gesunden, jungen Patienten, wobei das Ausmaß des rasch fortschreitenden Knochenabbaus im Missverhältnis zur vorhandenen Menge mikrobieller Auflagerungen steht (Bear 1971). Es wird eine genetische Prädisposition angenommen, da sie familiär gehäuft auftritt (Butler 1969). Im Zusammenhang mit der aggressiven Parodontitis ist der hochvirulente Keim *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* gehäuft zu finden (Zambon 1985).

2.4 Biofilme und Entstehung von Parodontitiden

Eine unzureichende Mundhygiene führt zwar nicht zwangsläufig zu einer Parodontalerkrankung, jedoch wird die daraus resultierende Bildung von Biofilmen in Form von Zahnplaque und Zahnstein als größter

mikrobiologischer Risikofaktor für Entzündungsreaktionen des Parodonts angesehen (Carranza 1990). Subgingivale Biofilme etablieren sich über geraume Zeit. Zunächst entsteht ein Pellikel auf der Zahnoberfläche, welches später zu Zahnplaque und Zahnstein reifen kann (Sanderink und Weber 2004).

2.4.1 Pellikel

Bereits einige Minuten nach dem Zähneputzen überzieht ein 0,8 bis 2 µm dicker Film aus Bakterien, Muzinen und anderen Glykoproteinen des Speichels die Zahnoberfläche. Dieses sogenannte Pellikel stellt in vielerlei Hinsicht einen Schutzfilm für die Zahnhartsubstanz dar. So unterdrückt dieser Film den Austritt von Mineralien aus dem Schmelz und schützt somit die Zahnhartsubstanz vor der destruktiven Einwirkung von Säuren. In umgekehrter Hinsicht wirkt das Pellikel auch als Barriere gegenüber anlagernden Kalziumsalzen aus dem Speichel, wodurch ein kontinuierliches Kristallwachstum des Hydroxylapatits verhindert wird. Des Weiteren reduziert das Pellikel die Friktion zwischen Antagonisten und wirkt somit einer schnellen Abrasion und Attrition entgegen (Sanderink 2004).

Trotz dieser vielseitigen Schutzfunktionen bildet das Pellikel aber auch die Grundlage für die orale Biofilmbildung, da es Rezeptorproteine für mikrobielle Zellwandbestandteile enthält. So können sich Mikroorganismen anlagern und sich im Pellikel vermehren (Sanderink 2004). Saure prolinreiche Proteine und Statherine ermöglichen beispielsweise die Anheftung von *S. mutans* und schwarz pigmentierten Anaerobiern (Marsh und Martin 2003). Gleichzeitig kann die Oberfläche des Pellikes durch Enzyme umgebaut werden, wodurch sich die Möglichkeiten der Bakterienanlagerung verändern. So wandelt beispielsweise das bakterielle Enzym Glycosyltransferase die Rezeptorproteine des Pellikels derart um, dass sich der kariogene Keim *Streptococcus mutans* vermehrt ansiedeln kann (Sanderink 2004).

2.4.2 Entwicklung von Zahnplaque

In einem kurz nach dem Zähneputzen neu entstandenen Pellikel lagern sich zunächst grampositive Aerobier (zumeist Streptokokken) als Pionierkeime ein. Marsh und Martin (2003) beschreiben, dass es sich bei den Pionierkeimen vor allem um Mitglieder der *Streptococcus mitis*-Gruppe sowie teilweise um gramnegative *Neisseria* handelt. Durch die Vermehrung dieser Keime sowie durch die weitere Ansiedlung von grampositiven und gramnegativen Stäbchen und Filamenten als Nachfolgekeime entsteht aus dem Pellikel eine strukturierte Bakterienansammlung, die als Biofilm bezeichnet wird. Die Keime sind dabei in ein Gerüst aus bakteriellen Polysacchariden eingebettet, das ihnen auch als Nahrungsquelle dient. Durch den Stoffwechsel der Pionierkeime werden geeignete Verhältnisse für die Ansiedlung der Nachfolgekeime geschaffen. Die obligat und fakultativ aeroben Keime verbrauchen vorhandenen Sauerstoff, was die Bedingungen für obligate Anaerobier verbessert (Sanderink und Weber 2004).

Die Ausbildung einer mikrobiellen Plaque ist ein wichtiger ätiologischer Faktor für die Pathogenese der beiden häufigsten oralen Krankheitsbilder, der Karies und der Parodontalerkrankungen. Die pathogene Wirkung beruht darauf, dass es sich bei der Plaque um einen Biofilm handelt (Sanderink und Weber 2004). Mit diesem Begriff ist eine Gemeinschaft von Mikroorganismen gemeint, die an einer Oberfläche haften und durch ihr Zusammenleben einzigartige Fähigkeiten erhalten. Beispielsweise sind Keime in Biofilmen bis zu tausend Mal resistenter gegen antimikrobielle Substanzen als dieselben Keime in wässrigem Milieu (Marsh und Martin 2003). Verantwortlich für diese Eigenschaft ist die gesteigerte Virulenz und Pathogenität der Keime, welche im Biofilm durch eine veränderte Genexpression zustande kommt. So werden an der Oberfläche des Biofilms Stoffe gebildet, welche ein Antibiotikum weitgehend neutralisieren können. Die mikrobiellen Virulenzgene, die für die Produktion solcher Stoffe verantwortlich sind, werden erst ab einer bestimmten

Bakterienanzahl aktiviert, was durch die Organisation in einem Biofilm ermöglicht wird (Sanderink und Weber 2004).

Der Biofilm bildet sich primär dort, wo die Zähne nicht durch Zunge, Wange oder Lippen mechanisch gereinigt werden, also vorwiegend in Fissuren und Approximalräumen sowie am Gingivasaum. Außerdem kann der Biofilm nicht nur an den natürlichen Zähnen, sondern auch an zahnärztlichen Restaurationsmaterialien, kieferorthopädischen Apparaturen und Prothesen entstehen. Die Plaquebildungsrate kann individuell sehr unterschiedlich sein. Sie hängt unter anderem von der Fließrate, Zusammensetzung und Viskosität des Speichels sowie von der Verfügbarkeit bestimmter Nährstoffe für die Bakterien ab. Das Vorhandensein von Retentionsnischen erhöht die Anlagerungsrate, wie es beispielsweise bei überstehenden Restaurationsrändern der Fall ist. Im Alter nimmt die Plaquebildungsrate im Allgemeinen zu. Der Speichelfluss geht physiologischerweise zurück oder wird durch die Einnahme bestimmter Medikamente verringert. Der Speichel verliert dadurch seine Spülwirkung und Biofilme können sich schneller etablieren. Hinzu kommt, dass viele ältere Patienten nur zu einer eingeschränkten Mundhygiene fähig sind (Sanderink und Weber 2004).

2.4.3 Bildung von Zahnstein und Konkrementen

Zahnstein entsteht durch eine Mineralisation von Plaque, wobei sich verschiedene Kalziumphosphatkristalle in die Matrix der Plaque einlagern. Auch Zahnstein weist die Charakteristika eines Biofilms auf. Er haftet im Allgemeinen sehr fest an der Zahnoberfläche, da auch das zwischen Biofilm und Zahn liegende Pellikel mineralisiert und so ein direkter Kontakt zur Zahnhartsubstanz entsteht. Kleinste Unregelmäßigkeiten in der Oberflächenstruktur von Schmelz und Wurzelzement dienen als Retention für die Zahnsteinkristalle. Subgingivale, durch die Sulkusflüssigkeit dunkel gefärbte harte Ablagerungen werden Konkremeente genannt. Die besonders feste Haftung der subgingivalen Konkremeente am Wurzelzement wird darauf zurückgeführt, dass beim Attachmentverlust die

schmalen Grübchen, in die sich ursprünglich die Sharpey'schen Fasern verankerten, eine größere Retentionsmöglichkeit bieten (Weber 2004).

Im Gegensatz zur mikrobiellen Plaque kommt dem Zahnstein bei der Ätiologie und Pathogenese von Parodontalerkrankungen allerdings nur eine sekundäre Rolle zu. Zahnstein allein scheint keine Gingivitis oder Parodontitis auszulösen, jedoch bietet er optimale neue Retentionsmöglichkeiten für Plaque. Zahnstein ist immer von mikrobieller Plaque überzogen und macht eine effektive Plaquekontrolle für den Patienten unmöglich. Deshalb setzt die Therapie jeglicher Parodontalerkrankungen immer die Entfernung aller supra- und subgingivalen Beläge voraus (Weber 2004).

2.4.4 Mit Gingivitis assoziierte Mikroorganismen

Entzündungsreaktionen der Gingiva stehen im direkten Zusammenhang mit einer Veränderung der Zusammensetzung des bakteriellen Biofilms im marginalen Bereich der Zähne. Dies wurde erstmals durch Loe et al. (1965) untersucht, indem parodontal gesunde Probanden für 21 Tage ihre Mundhygiene vollständig einstellten und dann wieder aufnahmen. Durch die eingestellte Mundhygiene kam es zu Veränderungen der mikrobiologischen Flora, die in drei Stadien eingeteilt wurde. Zunächst stellten Loe et al. (1965) eine rasante Zunahme der zur normalen Mundflora gehörenden grampositiven Kokken und kurzen Stäbchen fest. Gleichzeitig wurden bereits kleine Ansammlungen von Leukozyten am Gingivasaum beobachtet. Die zweite Phase, welche nach zwei bis vier Tagen begann, war durch die Anlagerung von fadenförmigen Mikroorganismen charakterisiert, während die Kokken noch ca. 70 % der Mikroflora ausmachten. Auch die Leukozytenansammlungen mehrten sich. Nach sechs bis zehn Tagen kam es zur dritten Phase, in der auch gramnegative Bakterien und Spirochäten gefunden wurden. Zugleich sank der Anteil der grampositiven Kokken und kurzen Stäbchen auf 45 bis 60 %. Ab der dritten Phase zeigten sich die klinischen Zeichen einer Gingivitis. Einige Tage nach Wiederaufnahme der

Mundhygienemaßnahmen verschwanden die Entzündungszeichen wieder. Bei einer abschließenden mikrobiologischen Untersuchung stellten die Autoren fest, dass die gramnegativen Keime und Spirochäten verschwunden waren. Fadenförmige Bakterien waren nur noch vereinzelt zu finden, die grampositiven Kokken und kurzen Stäbchen stellten wieder nahezu 100 % der Mikroflora auf der Zahnoberfläche. Die Untersucher folgerten, dass es durch die eingestellte Mundhygiene zu charakteristischen Veränderungen der Mikroflora mit Wachstum pathogener Keime und gleichzeitige Reduktion von Bakterien der gesunden Mundflora zur Ausbildung von Entzündungszeichen am Zahnfleischsaum kommt. Durch die Wiederaufnahme der Mundhygiene stellte sich das ursprüngliche Gleichgewicht in der Zusammensetzung der Mikroflora wieder ein, die pathogenen Keime verschwanden. Zeitgleich klangen die Zeichen der Gingivitis ab, was die Korrelation mit der Veränderung der mikrobiologischen Plaque belegt (Löe et al. 1965).

Marsh und Martin (2003) bestätigten die von Löe et al. (1965) beobachteten Veränderungen der mikrobiellen Zusammensetzung in Plaqueansammlungen, wenn diese sich ungestört entwickeln können. Demnach besiedeln *Streptococcus mitis*, *S. sanguis* und *S. oralis* als erste Keime das Pellicel. Es schließen sich gramnegative Kokken wie *Neisseria* und *Veillonella* sowie weitere Keime an, vor allem grampositive Stäbchen wie *Actinomyces* spp. Nach sieben Tagen besteht der Biofilm immer noch hauptsächlich aus Streptokokken, doch nach vierzehn Tagen hat sich ihr Anteil auf 15 % reduziert (Marsh und Martin 2003).

2.4.5 Die Rolle bestimmter Bakterien bei Parodontitis

An die Pionierkeime der Plaque (vor allem an Streptokokken und *Actinomyces* spp.) können sich durch Koaggregation verschiedene parodontalpathogene Keime, wie die gramnegativen anaeroben Stäbchen *Prevotella*, *Porphyromonas* und *Fusobacterium* anlagern. Subgingival wird durch die speziellen Bedingungen in einer Zahnfleischtasche vor allem das Wachstum anaerober Keime gefördert. Mit zunehmender

Parodontalerkrankung wird das Milieu durch die Stoffwechselprodukte der proteolytischen Keime leicht alkalisch, was die Vermehrung von Anaerobiern wie *Porphyromonas gingivalis* begünstigt. Auch erhöht sich die Fließrate der Sulkusflüssigkeit, wodurch den Bakterien nun komplexe Proteine und eisenhaltige Moleküle als Substrate zur Verfügung stehen (Marsh und Martin 2003).

Parodontitis-assoziierte Bakterien sind in der Regel gramnegativ. Diese Keime tragen Lipopolysaccharide auf ihrer Zellwand. Akute-Phase-Proteine des menschlichen Immunsystems können an die Lipopolysaccharide binden und über Makrophagen die Entzündungsreaktion im Parodont in Gang setzen. Eine besondere Rolle kommt den gramnegativen Stäbchenbakterien *Porphyromonas gingivalis* und *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* bei der Entstehung einer marginalen Parodontitis zu (Sanderink 2004).

Zambon (1985) beschäftigte sich in einem Review mit der Rolle von *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (früher *Actinobacillus*) bei der Pathogenese parodontaler Erkrankungen, vor allem der juvenilen Parodontitis. Dieser Keim besiedelt bei aggressiven Formen besonders die tiefen Zahnfleischtaschen und kann auch in das angrenzende Weichgewebe eindringen. Ähnliche Befunde existieren auch für die akute nekrotisierende ulzerierende Parodontitis. Die Einwanderung des Keims ins Weichgewebe deutet auf eine sehr hohe Virulenz von *A. actinomycetemcomitans* hin. Durch Ausschüttung von Zytotoxinen und Kollagenasen wird eine schwere Gewebsdestruktion herbeigeführt und durch Hemmung der Zellproliferation die Ausheilung des entzündeten Gewebes verhindert. Leukotoxine schützen zudem das Bakterium vor der Phagozytose durch Zellen der Immunabwehr (Sanderink 2004).

Der fakultativ anaerobe Keim *A. actinomycetemcomitans* ist auch bei gingivitisfreien Patienten als Pionierbesiedler plaquefreier Zahnflächen zu finden. Grundlegend ist die extrem hohe Affinität des Keims zu pellikelbedeckter Zahnhartsubstanz sowie zum Epithel.

A. actinomycetemcomitans besitzt Adhäsine, welche die Etablierung in der Mundhöhle ermöglichen sowie Invasine, womit der Keim das Epithel durchdringen kann. Erst dann können die zahlreichen Virulenzfaktoren des Keims ihre Wirkung auf das parodontale Gewebe entfalten (Sanderink 2004). Ist bei einer Parodontitis die Präsenz des Bakteriums nachgewiesen, wird eine erfolgreiche Behandlung nur dann gelingen, wenn *A. actinomycetemcomitans* vollständig entfernt werden konnte, weshalb zusätzlich zur Wurzeloberflächenglättung eine systemische Antibiose erfolgt, um *A. actinomycetemcomitans* auch im Weichgewebe zu erreichen (Beikler et al. 2003, Zambon 1985).

Der obligate Anaerobier *Porphyromonas gingivalis* kommt vor allem in großer Zahl und gleichmäßig verteilt über alle Parodontien bei chronischen Parodontitiden vor. Hier hängt die individuelle Ausprägung der Erkrankung stark von der individuellen Virulenz des vorhandenen *P. gingivalis*-Stammes ab. *P. gingivalis* kann sich durch Fimbrien und Hämagglutinine sehr gut an das orale Weichgewebe anhaften. Eine Besonderheit dieses Bakteriums ist, dass dessen oberflächliche Lipopolysaccharide Komponenten der unspezifischen Immunabwehr inhibieren und die Apoptose von TH1-Lymphozyten auslösen können, was im Anfangsstadium der Parodontitis zum unkontrollierten Wachstum des subgingivalen Biofilms führt. Die Virulenz von *P. gingivalis* ist unter anderem auf toxische Membranproteine, toxisch wirkende Metabolite wie Ammoniak und Schwefelwasserstoff und die vielfältigen membran-assoziierten Proteasen des Keims zurückzuführen. Letztere lösen durch eine Erhöhung der Gefäßpermeabilität klinische Symptome wie Gingivaödeme und Blutungen aus. Außerdem sind sie maßgeblich für die entzündliche Proteolyse bei marginalen Parodontitiden verantwortlich (Sanderink 2004).

2.4.6 Mikrobiell bedingte Destruktionen

Die Destruktionen der parodontalen Strukturen bei einer marginalen Parodontitis sind hauptsächlich auf immunologische und entzündliche,

aber auch auf zytotoxische und enzymatische Mechanismen zurückzuführen.

Die zytotoxisch bedingten Destruktionen im Parodont entstehen durch bakterielle Toxine, welche die Zellen des bindegewebigen Attachments zerstören. Zu nennen sind hier die von Bakterien produzierten organische Säuren, vor allem Carbonsäuren sowie deren Salze (Butyrate, Propionate). Auch Schwefelwasserstoff und Ammoniak werden von den im subgingivalen Biofilm lebenden Bakterien gebildet und schädigen Epithelzellen und kollagenbildende Fibroblasten. Der Keim *P. gingivalis* besitzt außerdem bestimmte Lipopolysaccharide auf seiner Zellwand, welche stark toxisch auf Fibroblasten wirken.

Bei den enzymatischen Mechanismen steht der Abbau von Kollagen im Vordergrund. Außerdem werden durch enzymatische Spaltung Immunglobuline und Komplementfaktoren des Immunsystems abgebaut. Die dafür verantwortlichen Enzyme werden zum Teil direkt von den im subgingivalen Biofilm angesiedelten Bakterien sezerniert. Beispielsweise bilden *P. gingivalis* und *A. actinomycetemcomitans* kollagenabbauende Enzyme wie Proteasen, Hyaluronidasen, Phosphatasen und Phospholipasen. Enzyme, die durch körpereigene Zellen ausgeschüttet werden, spielen allerdings eine größere Rolle bei der entzündlichen Parodontolyse. Zellen des Immunsystems wie Makrophagen, Mastzellen und neutrophile Granulozyten sezernieren nach ihrer Aktivierung durch die Bakterien des Biofilms Matrix-Metalloproteinasen (MMP). Diese sind in der Lage, nahezu alle Moleküle des bindegewebigen Attachments abzubauen. Im gesunden Parodont wird die Aktivität der MMP durch *tissue inhibitors of metalloproteinases* (TIMP) aus der Sulkusflüssigkeit unter Kontrolle gehalten. Bei einer marginalen Parodontitis allerdings gelingt dies nicht mehr, was zu einer massiven Zerstörung des Parodonts durch die MMP führt. Neben MMP sind auch bestimmte, durch körpereigene Zellen ausgeschüttete Serinproteasen und Cysteinproteasen am entzündlichen Gewebsabbau beteiligt (Sanderink 2004).

Die größte Rolle bei den bakteriell induzierten Destruktionen im Parodontium spielen immunologische Mechanismen und Entzündungsreaktionen. Durch die Ausbildung des subgingivalen Biofilms und der Vermehrung der Bakterien werden verschiedene Zellen des Immunsystems aktiviert. Vor allem Makrophagen und Mastzellen spielen als schnellste Zellen der Immunabwehr eine bedeutende Rolle. Die Aktivierung erfolgt durch ein bestimmtes Akute-Phase-Protein, das an die Lipopolysaccharide der gramnegativen Bakterien bindet, worauf dieser Komplex von den Rezeptoren der Makrophagen und Mastzellen erkannt wird. Daraufhin schütten diese Zellen eine Reihe von Zytokinen aus, die beispielsweise eine chemotaktische Wirkung auf Granulozyten aufweisen und den entzündlichen Knochen- und Kollagenabbau auslösen. Später werden auch Lymphozyten aktiviert. Keime wie *P. gingivalis* und *A. actinomycetemcomitans* sind in der Lage, die Zusammensetzung der Lymphozytenpopulation zu beeinflussen. Bei T1-Helferzellen wird die Apoptose eingeleitet, so dass die Zytokine der T2-Helferzellen überwiegen. Dies führt wiederum zur Differenzierung von B-Lymphozyten, Plasmazellen und Osteoklasten, was den vermehrten Gewebeabbau fördert und einen akuten Parodontitisschub einleitet. Die B-Zellen, die schließlich bei marginalen Parodontitiden überwiegen, bilden durch die Ausschüttung von Antikörpern (wie Opsonin IgG2) die humorale Immunabwehr (Sanderink 2004).

2.4.7 Problematik der Bekämpfung einer Biofilminfektion

In Biofilmen angesiedelte Bakterien sezernieren Antigene (Sanderink und Weber 2004). Diese Antigene, zumeist Lipopolysaccharide, lösen im menschlichen Körper eine Immunreaktion mit Entzündung der angrenzenden Gewebe und auch die Produktion von Antikörpern aus. Die Antikörper können jedoch nicht durch die Schleimschicht des Biofilms dringen und bleiben daher für die innerhalb des Biofilms angesiedelten Keime wirkungslos. Die körpereigene Immunabwehr kann also selbst bei sehr guter Konstitution eine Biofilminfektion nicht alleine abwehren. Auch

antimikrobielle Wirkstoffe diffundieren nur schlecht zu den innen liegenden Keimen eines Biofilms. Selbst beim Einsatz hochdosierter Antibiotika ist es fraglich, ob alle Keime eines Biofilms erreicht und abgetötet werden können. Vor allem subgingivale Biofilme können nur sehr schwer vollständig eliminiert werden, was unter anderem auch an der starken Gewebsaffinität mancher parodontalpathogener Keime liegt. Beispielsweise können *A. actinomycetemcomitans* und *P. gingivalis* sowohl an pellicelbedeckter Zahnhartsubstanz als auch am Epithel des Weichgewebes extrem gut haften oder sogar eindringen. Die Überlebensfähigkeit und starke Haftung der Biofilmkeime führt zwangsläufig zu einer hohen Rezidivneigung parodontaler Erkrankungen, wodurch die Notwendigkeit einer vollständigen Entfernung der Zahnplaque und des Zahnsteins bei der Therapie deutlich wird (Sanderink 2004, Zambon 1985).

2.5 Parodontaltherapie

2.5.1 Prävention und Screening

Drisko (2000 b) betonte, dass präventive Maßnahmen, einschließlich der Anleitung zu einer suffizienten häuslichen Mundhygiene, nach wie vor die Basis der erfolgreichen Parodontaltherapie darstellen. Die regelmäßige professionelle Betreuung sei ebenso wichtig, da die meisten Patienten ihre Zähne nicht auf Dauer völlig frei von Plaque halten können (Drisko 2000 b).

Um den Erfolg verschiedener zahnärztliche Maßnahmen zur Prävention einer Parodontitis aufzuzeigen, verglichen Needleman et al. (2005) in einem Review 32 Studien miteinander. Die Auswertung ergab, dass eine regelmäßige supra- und subgingivale Zahnreinigung bessere parodontale Verhältnisse bewirkte, als keine Behandlung. Der Erfolg der Parodontitisprävention wurde hierbei an der Reduktion der Plaqueansammlungen, Blutungen und Entzündungszeichen der Gingiva sowie der Taschensondierungstiefen gemessen. Eine häufigere

Wiederholung einer solchen Zahnreinigung erwies sich ebenfalls als vorteilhaft. Ein weniger klares Ergebnis lieferte der Vergleich, ob eine Mundhygieneinstruktion zur eigenständigen Plaquekontrolle oder die professionelle Zahnreinigung einen Beitrag zur Prävention parodontaler Erkrankungen leistet (Needleman et al. 2005).

In allen einbezogenen Studien wurde zusätzlich zur supragingivalen auch eine subgingivale Reinigung durchgeführt (Needleman et al. 2005). In Deutschland umfasst die professionelle Zahnreinigung laut aktuellem Abrechnungsschlüssel jedoch nur „das Entfernen der supragingivalen/gingivalen Beläge auf Zahn- und Wurzeloberflächen einschließlich Reinigung der Zahnzwischenräume, das Entfernen des Biofilms, die Oberflächenpolitur und geeignete Fluoridierungsmaßnahmen“ (GOZ-Position 1040, 2012).

Um eine parodontale Erkrankung möglichst schon in ihrem Anfangsstadium feststellen zu können, soll in der zahnärztlichen Praxis ein regelmäßiges parodontales Screening durchgeführt werden. Bei gesetzlich versicherten erwachsenen Patienten kann ein parodontales Screening einmal in zwei Jahren abgerechnet werden, in der Privatabrechnung ist dies zweimal innerhalb eines Jahres möglich. Die Erhebung des Parodontalen Screening Indexes (PSI) soll ein Bestandteil der zahnärztlichen Routineuntersuchung sein (Deutsche Gesellschaft für Parodontologie 2005).

Der PSI gibt Informationen darüber, ob eine parodontale Erkrankung vorliegt und behandelt werden soll. Auch im Rahmen der unterstützenden Parodontitistherapie (UPT) – nach erfolgter Erstbehandlung – können durch den regelmäßig erhobenen PSI erneute Veränderungen der parodontalen Verhältnisse und Rezidive erkannt werden. Der PSI beruht auf der Messung der Taschensondierungstiefe an sechs Stellen aller Zähne (mesiobukkal, bukkal, distobukkal, mesiopalatinal/-lingual, palatinal bzw. lingual, distopalatinal/-lingual). Die Weisheitszähne werden nicht mit untersucht. Das Gebiss wird in sechs Segmente (Sextanten) aufgeteilt.

Für jeden Sextanten wird der höchste gemessene Wert berücksichtigt. Die möglichen Befunde (Code 0 bis 4) sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Bei Jugendlichen beschränkt sich die Messung auf die Zähne 16, 11, 26, 36, 31 und 46. Gemessen wird mit einer speziellen Parodontalsonde, der WHO-Sonde. Diese hat am Ende eine kleine Kugel mit einem Durchmesser von 0,5 mm. Durch die spezielle farbliche Markierung im Bereich zwischen 3,5 und 5,5 mm mit einem schwarzen Band erleichtert die WHO-Sonde das Ablesen des PSI-Codes. Zusätzliche klinische Auffälligkeiten, wie Furkationsbeteiligung, Rezessionen über 3,5 mm, mukogingivale Probleme oder eine erhöhte Zahnbeweglichkeit werden im jeweiligen Sextanten mit einem Sternchen (*) dokumentiert. Abweichend von den allgemeinen Beschreibungen des PSI (Deutsche Gesellschaft für Parodontologie 2005) wird in der Rote Abrechnungsmappe angegeben, dass sich der Code bei einem * um einen Wert verschlechtert (Rote Abrechnungsmappe 2015).

Code 0	Code 1	Code 2	Code 3	Code 4
Bis 3,5 mm (das schwarze Band der Sonde bleibt vollständig sichtbar)			3,5 bis 5,5 mm (das schwarze Band der Sonde bleibt nur teilweise sichtbar)	Über 5,5 mm (das schwarze Band der Sonde verschwindet vollständig)
Keine Blutung	Blutung vorhanden	Blutung +/-		
Keine störenden Restaurationsränder, kein Zahnstein		Störende Restaurationsränder und/ oder Zahnstein vorhanden	Störende Restaurationsränder und/ oder Zahnstein +/-	

Tabelle 2: Einteilung der PSI-Codes durch die Deutsche Gesellschaft für Parodontologie (2005). Besonderheiten in einem Sextanten, z.B. Furkationsbeteiligung, Zahnbeweglichkeit, Rezessionen von mehr als 3,5 mm, werden in der Dokumentation mit einem Sternchen (*) markiert.

Das Screening ermöglicht eine quantitative Aussage über den Zustand des Parodonts, welches eine Diagnose und die Behandlungsplanung erleichtert. Während bei Code 0 die übliche präventive Betreuung ausreicht, soll bei vorliegender Gingivitis bei Code 1 bis 2 eine Instruktion

zur Verbesserung der Mundhygiene, die Entfernung der Plaque sowie bei Code 2 zusätzlich die Entfernung des Zahnsteins oder der vorhandenen plaqueretentiven Restaurationsränder erfolgen. Bei Code 3 liegt eine mittelschwere Parodontitis und bei Code 4 ist eine schwere Parodontitis vor. Wird eine parodontale Erkrankung festgestellt, empfiehlt die Deutsche Gesellschaft für Parodontologie, die Patienten zu einer verbesserten Mundhygiene anzuleiten und alle supra- und subgingivalen Plaqueansammlungen zu entfernen. Wird in mindestens einem Sextanten Code 4 oder in mindestens zwei Sextanten Code 3 festgestellt, sind zusätzlich eine genaue Untersuchung des vorliegenden Attachmentverlusts sowie eine komplexe Therapie des gesamten Gebisses nötig (Deutsche Gesellschaft für Parodontologie 2005).

2.5.2 Grundsätze der Therapie

Die Kombination Mundhygieneinstruktion mit subgingivaler Reinigung führt zu besseren Therapieergebnissen als die alleinige supragingivale Reinigung (Needleman et al. 2005). Zahlreiche Autoren stimmen dahingehend überein, dass eine erfolgreiche Parodontalbehandlung die Entfernung aller supra- und subgingivalen Beläge erfordert (Badersten et al. 1981, Marsh und Martin 2003, Pattison und Pattison 1992, Sanderink 2004, Tunkel et al. 2002, Zambon 1985).

Die konventionelle Parodontaltherapie umfasst einerseits das *Scaling*, womit die Entfernung von Plaque und harten Belägen von allen Zahnflächen gemeint ist. Andererseits wird durch die *Wurzelglättung* eine glatte, harte und saubere Wurzeloberfläche geschaffen (Pattison und Pattison 1992). Vor der eigentlichen Wurzelreinigung und –glättung durch den Behandler umfasst die Parodontaltherapie noch einige wichtige Schritte: Es muss eine Sondierung aller Taschentiefen vorgenommen und ein genauer Behandlungsplan aufgestellt werden. Je nach Schwere des klinischen Befundes ist eine mikrobielle Plaqueprobe indiziert (Carranza 1990). Des Weiteren ist die erfolgreiche Instruktion des

Patienten zu einer suffizienten Mundhygiene für den Therapieerfolg von größter Bedeutung (Drisko 2000 b, Needleman et al. 2005).

Für die subgingivale Reinigung der Wurzeloberflächen stehen dem Behandler verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Sie reichen von der nicht-chirurgischen Therapie bis zum chirurgischen Eingriff, wenn ein hinreichend gutes Ergebnis nicht mit der minimalinvasiven konservativen Instrumentierung zu erreichen ist bzw. war. Dies kann beispielsweise bei sehr tiefen Taschen, Wurzeleinziehungen oder Furkationsbeteiligung zutreffen (Bower 1979, Rabbani 1981).

Im konservativen geschlossenen Verfahren werden Handinstrumente sowie Schall- und Ultraschallaufsätze eingesetzt. Durch die Kombination der mechanischen Reinigung mit einer chemischen Keimreduktion durch Chlorhexidinspülungen sollen alle pathogenen Mikroorganismen aus den Taschen entfernt werden. Die Reinigung aller Zahnflächen wird für die „Full-mouth-desinfection“ innerhalb von 24 Stunden durchgeführt, um eine erneute Besiedlung der gereinigten Taschen durch in der Mundhöhle verbliebende Pathogene zu verhindern. Der klinische Nutzen dieses Vorgehens wurde allerdings kontrovers diskutiert, in neueren Reviews stellte sich der Effekt einer „Full-mouth-desinfection“ mit antiseptischen Spülungen als gering gegenüber der alleinigen Wurzelreinigung und –glättung heraus (Eberhardt et al. 2008, Lang et al. 2008).

Das gemeinsame Bestreben der verschiedenen Therapiekonzepte ist es, eine sorgfältig gesäuberte und biologisch akzeptable Wurzeloberfläche zu schaffen (Aleo et al. 1975, Nakib et al. 1982, Nishimine et al. 1979). Eine zusätzliche lokale oder systemische Verwendung antibiotischer Therapeutika ist bei schweren, therapieresistenten Verläufen oder aggressiven Formen der Parodontitis indiziert (Carranza 1990, Christersson et al. 1985, Beikler et al. 2003, Drisko 2000 b, Jeffcoat et al. 1997).

Entfernung aller bakteriellen Endotoxine

Um die Elimination jeglicher bakterieller Endotoxine von den Wurzeloberflächen sicherzustellen, empfahlen Aleo et al. (1975), bei der Parodontalbehandlung das gesamte Wurzelzement bis hinein ins Dentin gänzlich zu entfernen, um eine glasartig glatte Oberfläche zu schaffen. In rasterelektronenmikroskopischen Studien untersuchten Aleo et al. (1975), unter welchen Umständen sich Fibroblasten wieder an die erkrankte Wurzeloberflächen anlagern. Dies war in ihrer Studie einerseits bei den in vitro mit Phenolwasser behandelten Zähnen der Fall, da Phenolwasser Endotoxin bindet. Auch die radikale Wurzelglättung eliminierte in der Studie genug Endotoxin, um die bindegewebige Ausheilung der Parodontalläsion zu ermöglichen. Die Autoren forderten, dass die Elimination der bakteriell infiltrierten Gewebe sichergestellt werden muss, was bedeutet, dass das gesamte Wurzelzement entfernt werden muss (Aleo et al. 1975).

Um festzustellen, wie tief bakterielles Endotoxin in die Zahnstrukturen eindringt, untersuchten Nakib et al. (1982) in einer in-vitro-Studie 32 extrahierte Zähne, die für zwei bis zwölf Wochen in Lösungen mit Endotoxin des Bakteriums E. coli in verschiedenen Konzentrationen gelagert wurden. Mittels Immunfluoreszenzmethode sowie autoradiographisch (bei radioaktiver Markierung des Endotoxins durch Tritium) fanden die Autoren heraus, dass bakterielles Endotoxin ausschließlich an die Oberfläche des Wurzelzements bindet. Es gab keine Anzeichen dafür, dass es auch in tiefere Bereiche der Zahnhartsubstanz penetrierte. Dabei wurden keine Unterschiede zwischen parodontal geschädigten und gesunden Zähnen gefunden, auch die unterschiedlichen Konzentrationen der Endotoxinlösungen und die verschiedenen Lagerungszeiträumen zeigten keine unterschiedlichen Resultate. Die Bindung des Endotoxins schien zudem nur sehr leicht zu sein, da es auf den Wurzeloberflächen nach dem Abbürsten kaum mehr nachweisbar war. Die Autoren schlussfolgerten, dass ein exzessiver

Substanzabtrag, wie von Aleo et al. (1975) gefordert, nicht gerechtfertigt sei (Nakib et al. 1982).

Nyman et al. (1986) untersuchten im in-vivo-Modell an Hunden, ob die Entfernung des gesamten Wurzelzements notwendig ist, um parodontale Gesundheit zu erreichen. Zunächst wurde durch ein viermonatiges Tragen plaqueretentiver Ligaturen um die Zahnhäse von Hunden ein Attachmentverlust induziert. Nach weiteren zwei Monaten wurde im Split-mouth-Versuch jeweils in einer Kieferhälfte unter chirurgischer Aufklappung das Wurzelzement mit Diamantschleifkörper entfernt, in der anderen Kieferhälfte wurden ebenfalls unter Sicht nur die weichen Beläge mittels Politur von der Wurzeloberflächen entfernt. Nach einer Rekonvaleszenz von zwei Monaten zeigten klinische und histologische Untersuchungen keine Unterschiede zwischen Test- und Kontrollgruppe. In beiden Kieferhälften waren klinisch kaum mehr Entzündungszeichen vorhanden. Histologisch ließen sich Entzündungsinfiltrate im koronalen Bereich des Weichgewebes sowie neu gebildetes Wurzelzement mit inserierenden Kollagenfasern und die Formierung eines langen Saumepithels feststellen. Die Autoren resümierten, dass Endotoxin auf der Oberfläche der Zahnwurzel zusammen mit den weichen Auflagerungen durch die Politur entfernt wurde oder möglicherweise in das Wurzelzement eingedrungenes Endotoxin durch das Immunsystem eliminiert worden war. Sie sprachen sich gegen einen übermäßigen Abtrag des Wurzelzements bei der Parodontitistherapie aus, betonten aber, dass bei der notwendigen Entfernung harter Auflagerungen und Konkreme eine gewisser Substanzverlust des Wurzelzements nicht immer sicher vermieden werden könne (Nyman et al. 1986).

In einer klinischen Studie an elf Patienten mit moderater bis schwerer Parodontitis führten Nyman et al. (1988) die Untersuchung fort. Während bei den Wurzeloberflächen der Zähne einer Kieferhälfte wiederum unter chirurgischer Aufklappung das gesamte Wurzelzement mittels Küretten und Diamantschleifkörpern abgetragen wurde, entfernte man bei den Wurzeloberflächen der anderen Kieferhälfte die weichen Auflagerungen mittels Gummipolierer. In den folgenden drei Monaten wurde regelmäßig

eine professionelle Zahnreinigung durchgeführt. Bei der abschließenden Kontrolle nach 24 Monaten stellten die Autoren fest, dass sich der parodontale Zustand durch beide Behandlungsmethoden verbessert hatte und ein Attachmentgewinn in beiden Fällen klinisch nachweisbar war (Nyman et al. 1988).

Schaffung einer glatten Wurzeloberfläche

Green et al. (1966) forderten die Schaffung einer sauberen, ebenen Zahnwurzel als notwendige Voraussetzung für die Ausheilung parodontaler Erkrankungen. Die Autoren stellten in ihren Untersuchungen fest, dass mit Küretten eine wesentlich glattere Oberfläche geschaffen werden kann als mit anderen Handinstrumenten, wie beispielsweise mit Feilen (Green et al. 1966).

Auch Jones et al. (1972) plädierten dafür, mit den Parodontalinstrumenten eine möglichst glatte Oberfläche zu gestalten. In ihrer rasterelektronenmikroskopischen Studie verglichen die Autoren die Wurzeloberflächen parodontal erkrankter Zähne miteinander, die noch in situ mit verschiedenen Instrumenten gereinigt und anschließend extrahiert wurden. Sie stellten fest, dass erstaunlich viele der klinisch glatt erscheinenden Wurzeln noch Reste von Belägen aufwiesen. Es zeigte sich auch, dass jede Art der Behandlung die Oberfläche beschädigen kann. Die Autoren betonten, dass selbst das Sondieren auf verbliebene Ablagerungen kleinste Unregelmäßigkeiten oder Kratzer in der Wurzeloberfläche hinterlassen kann. Eine unregelmäßige oder raue Oberfläche solle unbedingt vermieden werden, da sie die erneute Auflagerung von Plaque und pathogenen Keimen begünstigt (Jones et al. 1972).

Ruben et al. (1973) beobachteten ebenfalls, dass eine sorgfältige Säuberung der Wurzeloberfläche von bakteriellen Bestandteilen zur Ausheilung der parodontalen Läsionen notwendig ist. Jedoch kamen die Autoren zu dem Schluss, dass eine durch die Instrumentierung angeraute Wurzeloberfläche sogar wundheilungsfördernd ist. Die mechanische

Anlagerung von Fibroblasten gelang im Experiment schneller an leicht rauen Wurzeloberflächen und auch die Insertion bindegewebiger Fasern erschien erleichtert (Ruben et al. 1973).

2.5.3 Vergleich von Ultraschall- und Handinstrumenten

Nach Goldman und Cohen (1973) ist der gekonnte Einsatz von Parodontalinstrumenten grundlegend wichtig für die effiziente Therapie einer Zahnbetterkrankung. Um eine adäquate Reinigung der Wurzeloberfläche mit Handinstrumenten zu erzielen, sind die verschiedenartigen Instrumentensätze den anatomischen Verhältnissen einer parodontalen Tasche anzupassen. Zu den Handinstrumenten zählen Sichelscaler, Feilen, Hauen, Meißel, Scaler und Küretten, wobei die beiden letzteren als Goldstandart der konservativen Parodontitistherapie gelten (Tunkel et al. 2002). Neben den Handinstrumenten stehen dem Behandler auch Schall- und Ultraschallinstrumente zur Verfügung. Die speziellen Aufsätze mit Schall- oder Ultraschallschwingungen und Wasserkühlung können für die supra- und subgingivale Reinigung eingesetzt werden.

Schallaufsätze arbeiten bei 3000 bis 8000 Schwingungen pro Sekunde (Hertz) mit elliptischen Bewegungen. *Magnetostriktive* Ultraschallaufsätze werden bei Frequenzen von 18000 bis 45000 Hertz betrieben und üben lineare, rautenförmige oder elliptische Bewegungen aus. *Piezoelektrische Ultraschallgeräte* arbeiten mit 25000 bis 50000 Hertz und haben lineare bis schräge S-förmige Bewegungen (Janner 2003).

Der vielleicht größte Vorteil der Schall- und Ultraschallaufsätze liegt darin, dass sie im Gegensatz zu herkömmlichen Handinstrumenten nicht geschärft werden müssen (Drisko 1998). Allerdings entsteht durch die notwendige Wasserkühlung ein bakteriell kontaminiertes Aerosol, weshalb zusätzliche Hygienemaßnahmen (z.B. der Einsatz von Hochvakuumsauganlagen und eine Mundspülung mit Antiseptika direkt vor der Behandlung) erforderlich sind. Da durch die Keimbelastung des Aerosols ein potenzielles Infektionsrisiko besteht, wird für die Behandlung

von infektiösen Patienten vorzugsweise die Anwendung von Handinstrumenten empfohlen. Eine weitere Anwendungseinschränkung für Ultraschallgeräte gilt bei Patienten mit Herzschrittmachern oder internen Defibrillatoren. Die Geräte müssen als Medizinprodukte nach der IEC60601-1-2 EMC Norm eine wechselseitige Störbeeinflussung ausschließen, indes einzelne Hersteller wie Dentsply vorgeben, einen gewissen Abstand einzuhalten, während andere Hersteller (EMS, Mectron, NSK) von der Anwendung grundsätzlich abraten (Petersilka und Stypmann 2015).

Wie Küretten unterliegen Schall- und Ultraschallansätze auch einer Abnutzung und müssen bei Verkürzung ausgetauscht werden. Die Kosten hierfür sind deutlich höher als für Gracey-Küretten. Es gibt in der Literatur und auch seitens der Hersteller keine Untersuchungen, wie lange Schall- oder Ultraschallansätze am Patienten eingesetzt werden können.

Elimination der bakteriellen Endotoxine

Nishimine et al. (1979) beobachteten, dass die infizierten Gewebe und damit auch das Endotoxin durch Ultraschallscaler nicht vollständig entfernt werden können. Dagegen wiesen die Wurzeloberflächen, die mit Handinstrumenten gereinigt wurden, nahezu den gleichen Endotoxingehalt auf, wie ein noch nicht durchgebrochener, parodontal gesunder Zahn. Die Endotoxinwerte der maschinell gereinigten Wurzeloberflächen waren um das Achtfache höher (Nishimine et al. 1979).

Dagegen ergaben spätere Studien für Schall- und Ultraschallinstrumente die gleiche Effektivität in der Endotoxinentfernung wie für Handinstrumenten. Mit Ultraschallaufsätzen wurde sogar eine schonendere Elimination der bakteriellen Endotoxine erreicht. Da Endotoxine nur eine sehr leichte Bindung an die Wurzeloberfläche aufweisen (Nakib et al. 1982), können sie durch Ultraschall ohne Überinstrumentierung und unnötigen Substanzverlust entfernt werden (Drisko 1998, Drisko et al. 2000 a).

Entfernung von Plaque und harten Ablagerungen

Plaque und Zahnstein können mit Schall-, Ultraschall- und Handinstrumenten gleichermaßen gut entfernt werden (Drisko et al. 2000 a, Drisko 2000 b, Jeffcoat et al. 1997). Auch für die Entfernung von Konkrementen wird für Schall-, Ultraschall- und Handinstrumenten eine gleiche Effektivität angegeben. Schall- und Ultraschallinstrumente haben durch die laufende Wasserkühlung den zusätzlichen Effekt, dass die losgelösten Bestandteile des Biofilms aus der Tasche geschwemmt werden (Disko et al. 2000 a). Die schonendste Entfernung aller harten Auflagerungen wird den Ultraschallaufsätzen zugeschrieben. Durch die minimale Anzahl überlappender Arbeitszüge wird ein exzessiver Wurzelabtrag vermieden (Smart et al. 1990).

Breining et al. (1987) quantifizierten in ihrer Studie die verbliebene Plaquemenge nach erfolgter Instrumentierung der Wurzeloberfläche. Es wurden 30 Molaren sowie 30 Prämolaren, Front- und Eckzähne mit approximalen Taschensondierungstiefen zwischen 4 und 7 mm untersucht. Die Hälfte der Zähne wurde mit Küretten, die andere mit Ultraschallinstrumenten gereinigt, bevor sie, da nicht erhaltungswürdig, extrahiert wurden. Mittels Rasterelektronenmikroskop wurden nach der Einfärbung mit Toluidinblau auf den Wurzeloberflächen zwar noch Auflagerungen gefunden, jedoch bestanden sie weitestgehend aus Fibrin und losen Rückständen der Wurzelreinigung. Mikrobielle Plaque war wenig zu finden. Diese Beobachtungen waren für mit Hand- oder Ultraschallinstrumenten gereinigte Flächen nahezu identisch (Breining et al. 1987).

Bereits bei Taschentiefen von über 3 mm ist in der geschlossenen Parodontitistherapie die hundertprozentige Reinigung der gesamten Wurzeloberfläche nicht zu erreichen (Rabbani et al 1981). Graetz et al. (2014) stellten fest, dass im in-vitro-Versuch unabhängig von der Erfahrung des Behandlers durch Schallaufsätzen durchschnittlich $80,2 \pm 21,3$ % der Wurzeloberfläche bei der Reinigung erreicht wurden,

durch Handinstrumente $73,1 \pm 20,0$ % und durch Ultraschallaufsätze $69,9 \pm 22,5$ %. Auch Rühling et al. (2002) kamen zu ähnlichen Ergebnissen.

Klinische Resultate

Badersten et al. (1981) stellten in einem Split-mouth-Versuch die klinischen Resultate einer Parodontalbehandlung mit Hand- und Ultraschallinstrumente gegenüber. Die Behandlung beschränkte sich dabei auf Schneide- und Eckzähne sowie Prämolaren. Vier bis fünf Monate nach der erfolgten supra- und subgingivalen Reinigung zeigten sich verbesserte Ergebnisse hinsichtlich der Sondierungstiefe, der Blutung auf Sondierung und der Plaqueablagerung. Bei parodontalen Taschen, die initial eine Sondierungstiefe von 7,0 bis 7,5 mm aufwiesen, wurde nach vier bis fünf Monaten ein durchschnittlicher Attachmentgewinn von 1,1 bis 1,5 mm gemessen. Bukkale Flächen sowie initial nur 2,0 bis 3,5 mm tiefe Taschen zeigten nach der Parodontalbehandlung tendenziell einen geringfügigen Attachmentverlust. Es wurden klinisch keine Unterschiede zwischen den Behandlungsmethoden durch die verschiedenen Instrumente festgestellt (Badersten et al. 1981).

Beim *World Workshop in Clinical Periodontics* im Jahr 1996 wurden schwerpunktmäßig alle zwischen 1989 und 1996 veröffentlichten Studien verglichen, um die klinische Effektivität der Wurzeloberflächenreinigung durch Schall-, Ultraschall- und Handinstrumente zu bewerten. Mit Handinstrumenten wurden in 40 bis 60 % aller Fälle eine Verringerung der Sondierungstiefen und der Entzündungszeichen der Gingiva sowie ein erleichterter Aufbau von neuem Attachment festgestellt. Für Schall- und Ultraschallinstrumente wurden die gleichen klinischen Ergebnisse gefunden (Jeffcoat et al. 1997).

In einem Review werteten Tunkel et al. (2002) die klinischen Ergebnisse von 27 Studien der Parodontitistherapie mit Hand- und Schall- bzw. Ultraschallinstrumenten aus. Bei einwurzeligen Zähnen mit chronischer Parodontitis unterschieden sich die klinischen Resultate der manuellen

Reinigung nicht von maschinellen Verfahren. Für mehrwurzelige Zähne konnte aufgrund unzureichender Daten keine Auswertung vorgenommen werden. Für die maschinelle Reinigung von Wurzeloberflächen wurde eine Zeitersparnis von 37 % gegenüber der subgingivalen Reinigung mit Handinstrumenten ermittelt (Tunkel et al. 2002).

Die Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde zu Schall- und Ultraschallscaler in der Parodontitistherapie gibt für Schall- und Ultraschallscaling eine Verringerung der subgingivalen Mikroflora wie bei subgingivalem Scaling mit Handinstrumenten an. Bei einwurzeligen Zähnen und Glattflächen von Molaren ergeben sich klinisch vergleichbare Attachmentgewinne und Sondierungstiefenreduktionen wie mit Handinstrumenten. Bei mehrwurzeligen Zähnen ist mit Schall- und Ultraschallscalern eine effizientere Entfernung von Zahnstein im Furkationsbereich möglich (Petersilka und Flemmig 2005).

Wirkung auf die Wurzeloberfläche

Viele ältere Studien erzielten durch die Reinigung mit Handinstrumenten eine wesentlich glattere Oberfläche als durch Ultraschallaufsätze. Benfenati et al. (1987) beobachteten in ihren rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen große Unterschiede der Oberflächenbeschaffenheit nach der Reinigung mit Hand- und Ultraschallinstrumenten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass durch ein scharfes Handinstrument eine erheblich glattere Oberflächenstruktur entsteht als durch Ultraschallaufsätze. Bei 600-facher Vergrößerung zeigten sich lediglich feine, regelmäßig parallele Furchen auf der Wurzeloberfläche, die von mikroskopischen Unregelmäßigkeiten der Schneidekante der Kürette herrührten. Nach einer Politur konnte selbst bei 2000-facher Vergrößerung nur mehr eine glatte Fläche festgestellt werden. Im Gegensatz dazu hinterließen Ultraschallinstrumente eine schuppige, bläschenartig aufgeraute Oberfläche. Die Autoren führten die unregelmäßige Struktur darauf zurück, dass abgeplatzte Partikel durch

den vibrierenden Ultraschallaufsatz hergeschoben worden waren (Benfenati et al. 1987).

Andere Studien befanden Ultraschallaufsätze als schonender für die Wurzeloberfläche (Smart et al. 1990), was auch abhängig vom angewendeten lateralen Druck durch den Behandler ist (Zappa et al. 1991 a). Bei korrekter Anwendung wurde durch zahlreiche Studien jeweils nur eine leichte Beeinflussung der Oberflächenstruktur dokumentiert (Drisko 2000 b).

Pameijer et al. (1972) untersuchten manuell und maschinell instrumentierte Wurzeloberflächen in rasterelektronenmikroskopischen Studien und fanden keine wesentlichen Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit. Durch beide Therapieverfahren entstand eine glatte Wurzeloberfläche, wenn auch mit leichten Unregelmäßigkeiten bei der Verwendung von Ultraschallinstrumenten. Die Autoren räumten allerdings ein, dass durch Handinstrumente mehr Zahnhartsubstanz entfernt und somit eine klinisch glatter erscheinende Fläche geschaffen werden könne (Pameijer et al. 1972).

Ruppert et al. (2002) betonten, dass die Gefahr eines exzessiven Substanzabtrags bei der Verwendung von Handinstrumenten wesentlich höher ist. Idealerweise müsse der Behandler gerade so viel Hartsubstanz abtragen, dass eine biologisch akzeptable, nicht beschädigte Wurzeloberfläche entsteht. Die Autoren schlugen vor, die Vorteile der Ultraschallaufsätze für die subgingivale Entfernung harter Beläge zu nutzen und die Wurzeloberfläche danach mit Handinstrumenten zu verfeinern (Ruppert et al. 2002).

Eine Beschädigung der Wurzeloberfläche durch einen größeren Winkel zwischen Instrument und Zahnachse sowie durch zu großen lateralen Druck ist sowohl mit Hand- als auch mit Schall- oder Ultraschallinstrumenten möglich. Flemmig et al. (1997, 1998 a, 1998 b) untersuchten die Wirkung verschiedener Arbeitswinkel, lateraler Druckkräfte und Leistungseinstellungen bei der Verwendung von Schall-

und Ultraschallinstrumenten. Sowohl bei den Schallscalern als auch bei piezoelektrischen und magnetostriktiven Ultraschallscalern wies der lateral angewandte Druck (Steigerung von 0,5 auf 2 Newton) den größten Einfluss auf das Volumen der Defekte auf der Wurzeloberfläche auf. Die Kombination mit einem großen Arbeitswinkel beeinflusste dagegen die Tiefe der Defekte. Bei der Anwendung des Schallscalers wurden maximale Defekttiefen ($281,9 \pm 27,0 \mu\text{m}$, 80 Sekunden) bei einem Arbeitswinkel von 90° und einem lateralen Druck von 2 Newton festgestellt (Flemmig et al. 1997). Bei den piezoelektrischen Ultraschallinstrumenten resultierten bei einem lateralen Druck von 2 Newton und einem Arbeitswinkel von 45° , angewandt über eine Dauer von 40 Sekunden, die tiefsten Defekte von $226,8 \pm 63,2 \mu\text{m}$ (Flemmig et al. 1998 a), bei den magnetostriktiven Ultraschallscalern wurden bis zu $410,5 \pm 51,1 \mu\text{m}$ tiefe Defekte bei maximaler Leistungseinstellung (für 40 Sekunden), einem Druck von 2 Newton und einem Arbeitswinkel von 90° , gemessen (Flemmig et al. 1998 b).

Wirkung auf das Weichgewebe

Die parodontale Wundheilung nach der Wurzelreinigung erfolgt im Gewebe vornehmlich durch die Bildung eines langen Saumepithels, das in Struktur und Funktion nicht dem ursprünglichen Gewebe des Parodonts entspricht. Das lange Saumepithel entspricht einer narbigen Ausheilung und wird auch als parodontale Reparatation bezeichnet. Kommt es zur Wiederanheftung parodontaler Fasern, spricht man von Reattachment. Durch beide Mechanismen kommt es klinisch zu einer verminderten Sondierungstiefe. Um eine regenerative Wundheilung zu erreichen, ist die Ausbildung eines funktionell vollwertigen neuen Parodonts notwendig, was in der Praxis sehr schwierig zu erreichen ist (Carranza 1990). Zu den derzeit gebräuchlichen Techniken, die eine *Restitutio ad integrum* ermöglichen sollen, gehören beispielsweise die gesteuerte Geweberegeneration mittels Membranen oder das Einbringen von Schmelzmatrixproteinen in Knochendefekte (Eickholz 2013).

Im Vergleich zahlreicher Studien bemerkte die *American Academy of Periodontology*, dass die manuelle und maschinelle Instrumentierung die gleichen Auswirkungen auf die Wundheilung des parodontalen Weichgewebes haben (Drisko et al. 2000 a). In einem Review von Tunkel et al. (2002) ergaben sich für die Instrumentierung mit Handinstrumenten oder maschinellen Verfahren gleiche klinische Ergebnisse, wenn auch nach der Instrumentation mit Handinstrumenten mehr Gewebetraumata beobachtet werden konnten.

Durch den Reinigungsvorgang der Wurzeloberflächen kommt es mehr oder weniger auch zur Verletzung des Weichgewebes. Um den dadurch verursachten Attachmentverlust zu quantifizieren, führten Alves et al. (2005) direkt nach erfolgter Wurzelreinigung eine Messung der Taschensondierungstiefe durch und verglichen die Werte mit den zuvor gemessenen Werten. Es wurden nur Frontzähne in die Studie einbezogen. Dabei wurde kein Unterschied zwischen den mit Küretten und den mit Ultraschallinstrumenten bearbeiteten Wurzeloberflächen gefunden. Beide Verfahren führten zu einer Zunahme der parodontalen Taschen um durchschnittlich 0,75 mm (Alves et al. 2005). Frühe histologische Untersuchungen zeigten, dass diese Gewebetraumata jedoch einen geringen Einfluss auf die parodontale Heilung haben (Ewen und Gwinnett 1977).

Zucchelli et al. (2009) untersuchten im Split-mouth-Versuch bei isolierten Rezessionen, ob unterschiedlich instrumentierte Wurzeloberflächen Auswirkungen auf den Erfolg koronaler Verschiebelappen hatten. Nach sechs Monaten wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den mit piezoelektrisch betriebenen Ultraschallinstrumenten und den mit Handinstrumenten gereinigten Zähnen gefunden. Beide Verfahren lieferten hohe Erfolgsraten hinsichtlich der durch die Lappen gedeckten Wurzeloberflächen (Zucchelli et al. 2009).

Effizienz

Nach derzeitigem Stand der Literatur schaffen Schall- und Ultraschallscaler ebenso wie Handinstrumente eine adäquat gereinigte Wurzeloberfläche, wodurch beide Verfahren zu den gleichen klinischen Ergebnissen führen. Bei der Reinigung von Zähnen mit Furkationsbefall (Grad II bis III) schienen die Ultraschallinstrumente in einigen Studien leicht überlegen zu sein. Auch ermöglichten dünne Ultraschallaufsätze einen besseren Zugang zu tiefen Taschen im Vergleich zu den Handinstrumenten. Als weitere Vorteile wurden in vielen Studien die kürzere Arbeitszeit mit maschinellen Systemen sowie die leichtere Erlernbarkeit aufgeführt (Drisko et al. 2000 a, Drisko 2000 b, Petersilka und Flemmig 2005).

Einfluss des Behandlers

Goldman und Cohen (1973) betonten, dass vorwiegend das Können und die Erfahrung des Behandlers bestimme, ob alle weichen und harten Beläge sowie das infizierte Gewebe entfernt werden und so eine suffiziente Therapie sichergestellt werden kann. Ein erfahrener, geschickter Behandler wisse eine Vielzahl verschiedener Parodontalinstrumente für den individuellen Therapieerfolg optimal zu nutzen. Die Autoren unterstrichen: „*There is no magic in an instrument*“ (Goldman und Cohen 1973).

Badersten et al. (1981) bestätigten dies. In ihrer klinischen Studie wurden keine Unterschiede zwischen den klinischen Resultaten nach Parodontitistherapie durch verschiedenen Behandler gefunden. Plaque- und Blutungsindizes sowie die Sondierungstiefen hatten sich vier bis fünf Monate nach erfolgter supra- und subgingivaler Reinigung in gleichem Maße verbessert (Badersten et al. 1981).

Graetz et al. (2014) führten zu diesem Thema eine in-vitro-Studie am Phantommodell durch, wobei erfahrene Behandler sowie Zahnmedizinstudenten mit wenig Erfahrung in der Parodontitistherapie neuartige Schall-, Ultraschall- und Handinstrumente einsetzten. Im

Gebrauch waren neuartige Gracey-Küretten mit doppelter Schneidekante sowie neu entwickelte Aufsätze für Schall- und Ultraschallgeräte, mit denen fluoreszierender Lack von den Wurzeloberflächen entfernt werden sollte, um die Elimination von Plaque zu simulieren. Die verwendeten Kunststoffzähne wurden vor und nach Auftragen des Lacks sowie nach erfolgter Instrumentierung gewogen, um auch einen eventuellen Substanzabtrag zu bestimmen. Durch Fotografien unter Schwarzlicht wurde untersucht, wie viele Reste des Lacks sich nach der mechanischen Reinigung noch auf den Wurzeloberflächen befanden. Die Wurzelreinigung mit Ultraschall dauerte im Experiment signifikant länger ($3,61 \pm 1,17$ min pro Zahn) als mit Schall- ($3,06 \pm 1,38$ min pro Zahn) und Handinstrumente ($2,91 \pm 0,83$ min pro Zahn). Dabei ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen unerfahrenen und erfahrenen Behandlern feststellen. Nach der Verwendung von Schallinstrumenten wurden weniger Reste des Lacks auf den Wurzeloberflächen aufgefunden, als nach der Instrumentierung mit Hand- und Ultraschallinstrumenten. Erfahrene Behandler ließen weniger Reste zurück als unerfahrene Behandler, unabhängig vom verwendeten Instrument. Dabei zeichnete sich auch ein leicht verringerter Substanzabtrag der künstlichen Zahnwurzel ab. Die Autoren merkten an, dass alle Behandler den Gebrauch von Hand- und Schallinstrumenten gewohnt waren, jedoch nur wenig Erfahrung mit Ultraschallinstrumenten hatten. Auch die neuartigen doppelschneidigen Gracey-Küretten waren ungewohnt in der Handhabung. Die Autoren resümierten, dass ein Behandler mit bisheriger allgemeiner Erfahrung in der Parodontitistherapie nicht automatisch in kürzerer Zeit mehr Plaque entfernen kann, aber der Grad der Beschädigung der Wurzeloberfläche sich verringert. Vielmehr beeinflusste die Gewohnheit eines Instruments die Qualität der Wurzelreinigung (Graetz et al. 2014).

In einer in-vitro-Studie am Phantommodell untersuchten Rühling et al. (2002) die Effektivität beim Erlernen verschiedener Techniken der Wurzelreinigung. Zwei Gruppen von

Zahnmedizinstudenten, welche noch keinerlei Erfahrung in der Parodontistherapie hatten, wurden in zehn Wochen theoretisch in die Anwendung von Gracey-Küretten bzw. einem maschinenbetriebenen System (Periopolisher®) eingewiesen, bevor sie an sechs Tagen jeweils zehn Wurzeln eines Kiefermodells reinigen sollten. Die künstlichen Zahnwurzeln wurden dafür jeweils mit einem Lack überzogen. Nach erfolgter Reinigung wurde der prozentuale Anteil der suffizient gereinigten Wurzeloberfläche ermittelt. Zu Beginn der Studie wurden nur 63,1 % der mit Gracey-Küretten bearbeiteten Oberflächen als frei von Rückständen aufgefunden und nur 52,3 % der mit maschinell bearbeiteten Oberflächen. Gegen Ende der Studie (ab Tag 4 und 5 der praktischen Anwendung) erreichte die Effektivität ein Plateau von 84,7 % mit Küretten bzw. von 81,3 % mit maschinellem Verfahren. Bei der Reinigung von Zahnwurzeln mit komplexer Anatomie und tiefen Taschen waren dabei die Handinstrumente diesem maschinellen System überlegen. Die Autoren schlussfolgerten, dass durch ein gezieltes Training eine signifikante Steigerung der Effektivität der Wurzelreinigung sowohl bei maschinellen Systemen als auch bei Handinstrumenten zu erreichen sei. Die Wurzelreinigung mit Küretten sei entgegen der allgemeinen Meinung nicht schwieriger zu erlernen als die maschinelle Reinigung. Die Ergebnisse der in-vitro-Studie zeigten, dass ungeübte Behandler weniger effektiv mit dem Periopolisher® arbeiteten als mit Gracey-Küretten. Auch konnte keine Zeitersparnis durch die maschinelle Reinigung mit dem Periopolisher® festgestellt werden (Rühling et al. 2002).

Um die klinischen Auswirkungen der unterschiedlichen Lernlevel zu untersuchen, führten Rühling et al. (2003) eine klinische Studie mit den zuvor am Phantommodell trainierten Zahnmedizinstudenten als Behandler durch. Die Gruppe, welche zuvor zehn Wochen lang die Anwendung von Gracey-Küretten gelehrt bekommen hatte, wurde zwei Stunden lang im Gebrauch des maschinellen Systems (Periopolisher®) unterwiesen und umgekehrt. Anschließend behandelte jeder Student einen Patienten mit chronischer Parodontitis im Split-mouth-Versuch mit den verschiedenen

Instrumenten. Die Überprüfung der klinischen Resultate nach sechs Monaten zeigte eine signifikante Reduktion der Sondierungstiefen und der Blutung auf Sondierung sowie einen Attachmentgewinn für alle Behandlungsverfahren. Es wurde kein bedeutsamer Unterschied zwischen den unterschiedlich erfahrenen Behandlern gefunden (Rühling et al. 2003).

Eingesetzte Kräfte

Zappa et al. (1991 b) wiesen darauf hin, dass der Substanzabtrag bei der subgingivalen Reinigung und der Wurzelglättung maßgeblich von den angewandten Druckkräften abhängt. Diese Kräfte variieren stark von Behandler zu Behandler, was Zappa et al. (1991 a) in einer Studie quantifizierten. Demnach werden je nach Behandler beim Wurzelscaling mit Handinstrumenten Kräfte von 1,01 bis 15,73 Newton eingesetzt (Zappa et al. 1991 a). Durchschnittlich wenden Zahnärzte beim Wurzelscaling von Schneidezähnen Kräfte von 5,70 Newton und Dentalhygieniker Kräfte von 5,38 Newton an. Bei der Wurzelglättung applizieren diese durchschnittlich eine Kraft von 4,58 Newton, während Zahnärzte mit 4,62 Newton arbeiten. (Zappa et al. 1991 a).

Um den Substanzabtrag durch bestimmte Kräfte und einer bestimmten Anzahl von Arbeitszügen zu beurteilen, führten Zappa et al. (1991 b) eine in-vitro-Studie durch. Nach jeweils 5, 10, 20 und 40 Arbeitszügen mit einer Kürette an extrahierten Zähnen wurde jeweils der Substanzabtrag gemessen. Innerhalb der ersten fünf Arbeitszüge wurde am meisten Zahnhartsubstanz entfernt. Bei geringer Druckkraft (3,04 Newton) wurden durchschnittlich 6,8 µm, bei hohen Kräften (8,48 Newton) durchschnittlich 20,6 µm Hartsubstanz während der ersten fünf Arbeitszüge von der Zahnwurzeloberfläche abgetragen. Die Autoren betonten, dass es vor allem bei der wiederholten Wurzelreinigung mit hohen Kräften zu iatrogenen Schädigungen der Zahnwurzel mit übermäßigem Substanzverlust kommt. Durch den Abtrag des Wurzelzements bis tief ins Dentin sei eine pulpitische Reaktion oder gar die Perforation der

Zahnpulpa nicht auszuschließen. Gleichzeitig bemerkten die Autoren im Experiment, dass es mit der Abstumpfung der Küretten während des Reinigungsvorgangs zu einem immer geringeren Substanzabtrag kam, was die Gefahr eines extremen Verlusts an Hartsubstanz limitierte (Zappa et al. 1991 b).

In einer späteren Untersuchung stellten Zappa et al. (1993) fest, dass die Kräfte bei der Behandlung von Molaren zwischen den Mesial- und Distalflächen stark variieren. Während Zahnärzte im Versuch durchschnittlich 7,56 Newton an den Mesialflächen anwandten, wurden an den Distalflächen durchschnittliche Kräfte von 3,81 Newton gemessen. Dentalhygieniker/-innen applizierten mesial Kräfte von 6,95 Newton und distal von 3,81 Newton. Die Autoren führten die kleinere applizierte Kraft mit den Distalküretten auf einen ungünstigeren Winkel beim Ausführen der Arbeitszüge zurück. Die ausgeübte Kraft mit der Kürette wurde durch eine Apparatur im oberen Schaft gemessen. Auch die Anzahl der Arbeitszüge variierte zwischen den Mesial- und den Distalflächen. Zahnärzte benötigten im Versuch durchschnittlich 39,2 Arbeitszüge an den Mesialflächen und 36,4 Züge an den Distalflächen zum Wurzelscaling, während Dentalhygieniker/-innen mesial 32,8 Arbeitszüge und distal 37,3 Arbeitszüge ausführten (Zappa et al. 1993).

Dong et al. (2007) untersuchten, welche Kraft beim Wurzelscaling am Daumen des Behandlers und an der Instrumentenspitze der Kürette entsteht. Im Versuch entwickelten Zahnmedizinstudenten mehr Kraft am Daumen, aber weniger Kraft an der Instrumentenspitze als Zahnärzte mit langjähriger Erfahrung. Die Kraft an der Spitze der Kürette (senkrecht zur Längsachse) betrug bei den Studenten im Durchschnitt $1,1 \pm 0,7$ Newton, bei Zahnärzten $1,9 \pm 0,7$ Newton. Die Autoren folgerten, dass erfahrene Behandler die über den Daumen applizierte Kraft besser in effektive Kraft an der Instrumentenspitze umwandeln können (Dong et al. 2007).

Ruppert et al. (2002) beobachteten in einem klinischen Versuch am Patienten ebenfalls teils beträchtliche Unterschiede zwischen den

einzelnen Behandlern. Zehn Zahnärzte und zehn Dentalhygienikern/-innen sollten dabei je einen Molaren mit Furkationsbefall unter Verwendung eines Ultraschallaufsatzes reinigen. Die Autoren dokumentierten, dass die Zahnärzte in der Studie zwischen 38 und 165 Sekunden für die Behandlung eines Zahnes benötigten, die Dentalhygieniker/-innen zwischen 38 und 244 Sekunden. Die Untersuchung der auf die Wurzeloberfläche einwirkenden Kräfte ergab für Zahnärzte 0,53 bis 1,34 Newton und für Dentalhygienikern/-innen von 0,20 bis 1,22 Newton. Bei Ausübung einer höheren Kraft auf die Wurzeloberfläche kann der Ultraschallaufsatz nicht mehr frei schwingen, was die Reinigungsleistung verringert. Die Autoren resümierten, dass der Therapieerfolg bei der Verwendung maschinenbetriebener Systeme sehr vom Können und von der Erfahrung des Behandlers abhängt (Ruppert et al. 2002).

In einer Vergleichsstudie von Hand- und Ultraschallinstrumenten zeigten Gagnot et al. (2004) den Einfluss des lateralen Drucks bei verschiedenen Methoden der Wurzelreinigung auf. Durch zwei erfahrene Behandler wurden jeweils zehn einwurzelige Zähne in situ an den mesialen Wurzelflächen mit Ultraschall-Miniaufsätzen und distal mit Gracey-Küretten behandelt. Da die Zähne nicht erhaltungswürdig waren, wurden sie nach erfolgtem Wurzelscaling vorsichtig extrahiert und mittels Elektronenmikroskopie untersucht. Hand- und Ultraschallinstrumente wurden als gleich effektiv in der Entfernung von Plaque und Zahnstein befunden. Es zeigte sich, dass die Zemententfernung nicht vom verwendeten Instrument abhängig war, sondern vom angewandten lateralen Druck durch den Behandler. Behandler A reinigte die Zahnwurzelflächen mit moderatem Druck, während Behandler B höhere Druckkräfte anwandte. Bei letzterem fanden sich stärkere Substanzverluste bis ins Dentin und vermehrt Kratzer auf der Oberfläche. Mit moderatem Druck schuf Behandler A eine glattere Oberfläche, unabhängig vom verwendeten Instrument. Die Autoren betonen, dass

Ultraschallaufsätze nur bei leichtem bis moderatem Druck frei schwingen können (Gagnot et al. 2004).

2005 empfahlen Petersilka und Flemmig in einer Wissenschaftlichen Stellungnahme der DGZMK, bei der Verwendung von Ultraschallaufsätzen eine Anpresskraft von 0,5 bis 1 Newton anzuwenden. Ein schonendes Arbeiten gelinge durch parallele, leicht überlappende Bewegung der Arbeitsspitze in Relation zur Wurzeloberfläche.

2.6 Handinstrumente: Gracey-Küretten

Küretten sind anderen Handinstrumenten, wie beispielsweise Feilen, in der geschlossenen Parodontitistherapie weit überlegen (Green et al. 1966, Pattison und Pattison 1992).

2.6.1 Beschaffenheit und Handhabung

Pattison und Pattison (1992) beschrieben, dass jedes Handinstrument drei grundlegende Teile beinhaltet: Einen Griff, einen Schaft und ein Arbeitsteil. Doppelendige Instrumente besitzen zwei Arbeitsenden, die spiegelbildlich geformt sind. Ein Nummernpaar kennzeichnet dabei das Einsatzgebiet, an das die Arbeitsenden anatomisch angepasst sind. Beispielsweise ist die Gracey-Küretten 13/14 für die Bearbeitung der distalen Flächen der Seitenzähne vorgesehen. Dabei wird die eine Seite des doppelendigen Instruments von oral eingesetzt, die andere von bukkal (Pattison und Pattison 1992).

Das Arbeitsende einer Gracey-Kürette ist vorne abgerundet und besteht aus der konvexen Rückseite, sowie aus einer Fazialfläche und einer Lateralfäche, welche durch ihr Zusammentreffen die Schneidekante bilden. Die Besonderheit der Gracey-Kürette besteht darin, dass die Fazialfläche nicht senkrecht zum unteren Schaft steht, sondern um 60 bis 70° geneigt ist. Die Neigung der Fazialfläche zum Einserschaft ermöglicht bei den Gracey-Küretten gegenüber Universalküretten eine optimalere

Ausrichtung auf die Wurzeloberfläche und somit eine effiziente Reinigung der Wurzeloberfläche (Pattison und Pattison 1992).

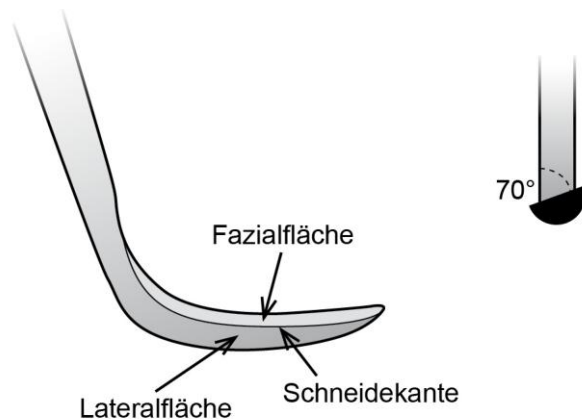


Abbildung 1: Beschaffenheit einer Gracey-Kürette

Über die Schaftlänge und deren Winkelung sind die einzelnen Gracey-Küretten an die verschiedenen Einsatzgebiete angepasst. Gewinkelte Schäfte kennzeichnen Küretten für das Seitenzahnggebiet, während Instrumente mit gering geneigten Schäften im anterioren Bereich eingesetzt werden. Über die Dicke und die Zusammensetzung der Metalllegierung lässt sich außerdem die Flexibilität des Schaftes steuern (Pattison und Pattison 1992). Im Weiteren gibt es Sonderformen mit verlängertem erstem Schaft, die den Zugang zu Zahnfleischtaschen von über 5 mm Tiefe erleichtern. Andere Küretten haben ein um etwa 50 % kürzeres Arbeitsende, das auch geringfügig dünner sein kann. Die Hersteller werben damit, dass mit solchen Küretten auch zierlichere Zahnwurzeln gereinigt und Einziehungen sowie schmale Taschen wie auch Furkationen besser erreicht und damit gereinigt werden können. Dos Santos et al. (2009) wiesen allerdings darauf hin, dass viele Molaren mit Furkationsbefall nicht adäquat mit Küretten gereinigt werden können, da die Breite der Arbeitsteile trotz Spezialformen oft die Breite des Furkationseinganges übersteigt. In einer Studie wurden die Dimensionen der Furkationen von 100 extrahierten Zähnen gemessen sowie die Breiten

von speziellen Gracey-Küretten unterschiedlicher Hersteller, die für die Bearbeitung von Furkationen ausgewiesen waren. 19 % der Furkationseingänge waren enger als 0,60 mm, aber 75 % der getesteten Küretten wiesen im vordersten Drittel des Arbeitsteils bereits Breiten von über 0,60 mm auf (dos Santos et al. 2009).

Einer raschen Ermüdung des Behandlers kann durch eine ergonomische Arbeitsweise während der Parodontaltherapie vorgebeugt werden. Dies beginnt damit, die Graceykürette im modifizierten Federhaltgriff in der Hand zu halten. Dabei liegt das obere Glied des Mittelfingers seitlich dem Griff des Instruments an, während die Spitze des Zeigefingers den Griff gut oberhalb des Mittelfingers berührt. Der Daumen wird auf der unteren Seite des Griffs zwischen Zeige- und Mittelfinger platziert. Die beim Scaling eingesetzten und entstehenden Kräfte können so gut kontrolliert werden. Goldman und Cohen (1973) wiesen des Weiteren darauf hin, dass man das Instrument zwar fest, jedoch nicht verkrampft halten solle. Zur Durchführung der subgingivalen Wurzelreinigung und –glättung soll die Schneidekante der Gracey-Kürette an der Wurzeloberfläche anliegen und der erste Schaft parallel zur Längsachse des Zahns sein. Um die komplette Reinigung der erkrankten Wurzeloberfläche sicherzustellen, muss die Schneidekante vor jedem Arbeitszug bis auf den Boden der Tasche geführt werden. Mit seitlichem Druck auf die Wurzeloberfläche wird eine Ziehbewegung nach koronal und somit die subgingivale Reinigung ausgeführt. Der angewandte seitliche Druck wird dabei stets vorsichtig angepasst. Zur Entfernung von harten Konkrementen ist ein höherer seitlicher Druck und zur Entfernung von weichen Belägen nur ein geringer Druck erforderlich. Mit leichtem Druck kann die Wurzeloberfläche geglättet werden. Pattison und Pattison (1992) beschrieben, dass viele zahnmedizinische Studenten sowie manche Behandler häufig zu geringe Druckkräfte aufwenden, um die Wurzel von stark anhaftenden Konkrementen zu reinigen. Dies führt lediglich zu einer Art Politur der Ablagerungen, wodurch Reste verbleiben und die Parodontalerkrankung rezidivieren kann. Zu viele Arbeitszüge mit zu festem seitlichem Druck

können jedoch zu einem erhöhten Substanzabtrag mit unregelmäßig rauer Oberfläche führen (Pattison und Pattison 1992).

Die Zahnwurzel soll systematisch und flächenüberlappend gereinigt werden. Um eine möglichst lückenlose Entfernung der bakteriellen Ablagerungen zu gewährleisten, werden überlappende Ziehbewegungen vom Fundus bis zur marginalen Gingiva durchgeführt. Der Behandler muss dafür über genaue Kenntnisse der Wurzelanatomie verfügen (Carranza 1990).

Weiterhin sollte auf eine gute Abstützung, zum Beispiel auf den Zahnreihen, geachtet werden, um Verletzungen des Weichgewebes durch Abrutschen vorzubeugen. Es ist außerdem während des gesamten Reinigungsvorgangs darauf zu achten, dass das vordere Drittel der Schneidekante immer am Zahn anliegt, um Traumata des Weichgewebes durch ein Abstecken des Instrumentenendes und Defekte oder Aufrauhungen der Zahnhartsubstanz durch ein übermäßiges Eindrehen des Arbeitsendes zu vermeiden. Dies erreicht der Behandler am besten durch ein taktilen, leichtes Andrehen (Adaptieren) des Instruments (Pattison und Pattison 1992).

Goldman und Cohen (1973) wiesen auf die Wichtigkeit der Entfernung jeglicher subgingivaler Ablagerungen durch das Scaling sowie der weichen Beläge und des gesamten erkrankten Wurzellements durch die Wurzelglättung hin. Mit dem Handinstrument kann man dies leicht kontrollieren. Eine optimal bearbeitete Wurzeloberfläche wirkt beim Darüberführen der Kürette glasähnlich glatt und ergibt sogar ein leicht quietschendes Geräusch (Goldman und Cohen 1973).

Die Verlässlichkeit einer solchen Testung, ob sich nach erfolgter Reinigung noch Auflagerungen an der Wurzeloberfläche befinden, ist jedoch gering. Sherman et al. (1990 a) untersuchten in einer Studie extrahierte Zähne, welche zuvor in situ gereinigt worden waren. Die klinische Bewertung mit Tastsonden wies eine hohe Variabilität hinsichtlich der Ergebnisse auf. Auf 57 % der Flächen ließen sich unter

dem Mikroskop minimale Reste von Auflagerungen entdecken. Klinisch wurden dagegen 77,4 % dieser Flächen als frei von Auflagerungen befunden. Dieser hohe Anteil falsch-negativer Befunde steht einer niedrigen falsch-positiven Einschätzung durch die Behandler gegenüber, da bei 11,8 % der Flächen klinisch angenommen wurde, dass sie noch Auflagerungen aufwiesen, jedoch unter dem Mikroskop als gereinigt zu beurteilen waren. (Sherman et al. 1990 a). In einer klinischen Studie kam es auch dann zu einer Verbesserung der klinischen Parameter, selbst wenn noch minimale Reste auf der Wurzeloberfläche verblieben (Sherman et al. 1990 b).

2.6.2 Qualität der Küretten

Trotz vielfältiger Untersuchungen konnte bisher nicht eindeutig geklärt werden, ob eine glatte oder leicht raue instrumentierte Wurzeloberfläche die Anlagerung von Fibroblasten und die Ausheilung der parodontalen Läsion begünstigt (Benfenati et al. 1987, Tunkel et al. 2002). Somit finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben, wie die Schneidekanten der eingesetzten Küretten beschaffen sein sollten. Die Mehrzahl der Autoren (Antonini et al. 1977, Benfenati et al. 1987, Goldman und Cohen 1973, Paquette und Levin 1977, Pattison und Pattison 1992, Sisera et al. 2009, Tal et al. 1985) und aktuelle Herstellerangaben (American Eagle 2012, Hu-Friedy 2012 a) befürworten allerdings eindeutig die Verwendung möglichst scharfer Instrumente.

Ewen und Gwinnett (1977) untersuchten die Auswirkungen der Instrumentation von scharfen und stumpfen Küretten sowie die von Ultraschallansätzen auf Wurzeloberflächen. Die rasterelektronenmikroskopischen Bilder zeigten, dass durch scharfe Küretten der größte Substanzabtrag auf der Wurzeloberfläche hervorgerufen wird. Die Autoren wiesen darauf hin, dass bei einer erweichten Zahnhartsubstanz die Defekte durch die Therapie mit scharfen Küretten noch viel größer ausfallen würden. Letztendlich sprachen sie stumpfen Küretten bei entsprechend längerer Anwendung die gleiche

Reinigungswirkung zu, ohne so große Defekte in der Wurzeloberfläche zu verursachen wie mit scharfen Instrumenten. Die Empfehlung lautete, der Behandler solle zur Parodontaltherapie möglichst auf ein stumpfes Instrumentarium zurückgreifen (Ewen und Gwinnett 1977).

Ferner beschäftigten sich Antonini et al. (1977) in ihrer Studie mit der Schärfe und der Qualität von Parodontalinstrumenten. Sie beschrieben die Instrumente als scharf, wenn sie eine kontinuierliche Schneidekante zwischen Fazial- und Lateralfäche des Arbeitsteiles aufweisen. Dabei sollen die beiden Flächen exakt aufeinandertreffen, da Unregelmäßigkeiten zu einer funktionsunfähigen Schneidekante führen. Für die Qualität der Wurzeloberflächenreinigung sei die Schärfe eines Parodontalinstruments maßgeblich verantwortlich (Antonini et al. 1977).

Auch Paquette und Levin (1977) beschrieben die Schneidekante einer Kürette als das exakte Zusammentreffen zweier Flächen. Die Qualität einer Kürette definierten die Autoren des Weiteren durch die Feinheit und Glätte der Schneidekante, die durch die Feinkörnigkeit des verwendeten Schleifmaterials im Herstellungsprozess bestimmt wird. Die Härte der Schneidekante ist ausschlaggebend für die Dauerhaftigkeit der geschliffenen Form (Paquette und Levin 1977).

Benfenati et al. (1987) wiesen darauf hin, dass in der nicht-chirurgischen Parodontaltherapie das taktile Sondieren der Wurzeloberflächen die einzige Möglichkeit ist, um die instrumentierte Wurzeloberfläche auf Belagsrückstände zu überprüfen. Die Autoren stellten fest, dass hierbei überpolierte Konkreme und erkranktes Wurzelzement leicht übersehen werden können. In ihrer Studie wurde mittels rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen untersucht, welche Wirkung scharfe, stumpfe und beschädigte Küretten sowie Ultraschallinstrumente auf die Zahnhartsubstanz haben. Sie zeigten, dass mit einer deformierten, stumpfen Kürette Restbeläge nur über die Wurzeloberfläche verschmiert werden. Der verbleibende Schmierfilm kann nicht mit der Sonde erfasst werden und verbleibt unbemerkt am Zahn.

Ein stumpfes Instrument kann weder die festsitzenden Ablagerungen ablösen, noch kann der Behandler durch eine stumpfe Schneidekante Rauigkeiten und Rückstände auf der Wurzel ertasten. Goldman und Cohen (1973) betonten: „*Nothing lies like a dull curet*“.

Benfenati et al. (1987) untersuchten ebenfalls die Auswirkungen von beschädigten Instrumenten auf die Wurzeloberfläche. Diese hinterließen nicht nur Reste der aufgelagerten Konkreme, sondern auch tiefe Kratzer in der Wurzeloberfläche. Beschädigungen der Schneidekanten wurden in dem Experiment simuliert, indem sie mehrmals über eine Amalgamfüllung geführt wurden. Die Autoren bezogen Küretten mit defekten Schneidekanten in die Studie ein, da auch in der Praxis Küretten unbemerkt beschädigt werden können. Die Verletzungen der Wurzeloberfläche, die durch ein solches Instrument entstehen, sollten unbedingt vermieden werden. Benfenati et al. (1987) resümierten, dass Kratzer und Furchen pathogenen Mikroorganismen eine neue Retention bieten können und eine Ausheilung der Entzündung des Parodonts damit verhindern. Auch führe der durch stumpfe Instrumente belassene Schmierfilm zu einer erhöhten Rezidivwahrscheinlichkeit der Parodontalerkrankung. Die Autoren betonten, dass jegliche subgingivale Ablagerungen nur mittels scharfer Küretten entfernt werden können (Benfenati et al. 1987).

In einigen Untersuchungen stellte sich heraus, dass manche fabrikneue Kürette zwar scharf sein kann, aber mikroskopische Unregelmäßigkeiten in der Schneidekante aufweist. Folglich zeichnet sie sich nicht von so hoher Qualität aus, wie eine frisch geschliffene Kürette (Antonini et al. 1977, Tal et al. 1985). Auch der Sterilisationsprozess kann die Schärfe des Instruments und damit die Qualität beeinträchtigen. In den Untersuchungen von Sisera et al. (2009) zeigte sich, dass nach wiederholten Sterilisationsprozessen die Schneidekanteneffizienz der Küretten signifikant nachließ. Der Substanzabtrag beim Scaling verringerte sich in der Studie bei allen Testküretten um 0,3 bis 0,5 μm ,

was jedoch keine Auswirkungen auf die Oberflächenbeschaffenheit hatte (Sisera et al. 2009).

Hersteller von Parodontalinstrumenten vertreten die Meinung, dass die Schärfe der verwendeten Küretten von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Therapie sei. Der Hersteller American Eagle weist darauf hin, dass nur mit scharfen Instrumenten gesunde Parodontalverhältnisse geschaffen werden können (American Eagle 2012). In der Anleitung „*Korrektes Schärfen von Scalern und Küretten*“ (2012 a) weist auch der Hersteller Hu-Friedy stumpfe Küretten als nicht funktionell aus. Außerdem sei die Arbeitszeit mit einem stumpfen Instrument verlängert und die Gefahr des Instrumentenbruchs höher, da der Behandler zur Wurzelreinigung mehr seitlichen Druck ausüben muss (Hu-Friedy 2012 a).

2.6.3 Notwendigkeit des Schärfens und Schleifens

In verschiedenen Studien wurde untersucht, nach welchem Einsatz man Parodontalinstrumenten schärfen sollte. O’Leary und Kafrawy (1983) schärften die Küretten für ihre Untersuchungen bereits nach fünf Arbeitszügen. Tal et al. (1985) stellten in ihrer Studie nach 15 Arbeitszügen relevante Abnutzungserscheinungen der Schneidekanten bei 77 % der getesteten Küretten fest. Indessen beobachteten Zappa et al. (1991 b), dass die Wurzelreinigung und –glättung in ihren Untersuchungen bis zum zwanzigsten Arbeitszug am effektivsten durchgeführt werden konnte. Erst danach kam es zur Abstumpfung der Schneidekante mit deutlich verringertem Substanzabtrag. Um die Effektivität der Behandlung zu gewährleisten, müsse das Instrument also nach 20 Arbeitszügen geschliffen werden, so die Autoren. Zappa et al. (1991 b) räumten allerdings ein, dass es in der Praxis wohl kaum möglich und üblich ist, ein Instrument nach nur so wenigen Arbeitszügen zu schärfen. Dies sei zu zeitintensiv und würde den normalen Ablauf einer Parodontalbehandlung ständig unterbrechen. Die Autoren forderten deshalb auf, dieses Thema in weiteren Studien zu untersuchen, um Lösungsansätze zu finden (Zappa et al. 1991 b).

Kürettenhersteller wie Hu-Friedy und American Eagle empfehlen, herkömmliche Edelstahlküretten nach jeder Patientenanwendung zu schärfen (American Eagle 2012, Hu-Friedy 2012 a). Derzeit sind allerdings auch neuartige Küretten erhältlich, bei denen die Schleifempfehlungen der Hersteller abweichen. So müsse eine kryogen vergütete Kürette, so der Hersteller Hu-Friedy, nicht nach jedem Einsatz, sondern nur nach Bedarf geschärft werden (Hu-Friedy 2012 b) und Titannitrid-beschichtete Küretten von American Eagle müssen gar nicht mehr geschliffen werden (American Eagle 2012).

2.6.4 Schleiftechniken

Pattison und Pattison (1992) beschrieben, wie man die Schärfe einer Kürette kontrollieren kann. Sie könne entweder visuell oder taktil überprüft werden. Unter guter Beleuchtung erscheint die Schneidekante eines scharfen Instruments nur als feine Linie, die sich über die gesamte Länge des Arbeitsteiles zwischen Lateral- und Fazialfläche erstreckt. Eine auf der ganzen Länge stumpfe Schneidekante reflektiert mehr Licht und erscheint als breite weiße Linie. Die Schärfe einer Kürette kann mittels spezieller autoklavierbarer Plastikteststäbchen auch taktil wahrgenommen werden. Die Schneidekante wird dafür mit leichtem Druck über das Plastikteststäbchen geführt. Nur wenn die Schneidekante mühelos im Material greift, gilt sie als scharf (Pattison und Pattison 1992).

Ziel des Schleifens ist es, die Schärfe wieder herzustellen, ohne dabei das ursprüngliche Design des Instruments zu verändern (Pattison und Pattison 1992). Paquette und Levin (1977) erklärten, dass die größte Feinheit und die geringste Dicke einer Schneidekante, die man beim Schleifvorgang erreichen kann, primär vom Härtegrad der Legierung abhängen. Schleiftechnik und –material wären nur sekundär von Bedeutung. Die Technik solle dennoch gut beherrscht werden, dabei leicht erlernbar und praktikabel sein.

Bei der manuellen Technik wird die Kürette über den mit etwas Öl oder Wasser benetzten Schleifstein geführt, was bei Beherrschen der Technik

zu sehr guten Ergebnissen führt. Die Autoren betonten, dass eine präzise geschliffene Klinge eine exakte Positionierung der Schneidekante auf dem abrasiven Material erfordert (Paquette und Levin 1977).

Um mit dem Schleifprozess beginnen zu können, muss zunächst die Lateralfäche des Arbeitsteils korrekt am Schleifstein ausgerichtet werden. Pattison und Pattison (1992) empfehlen, dazu die Fazialfläche der Kürette horizontal auszurichten. Der Schleifstein wird zunächst so an die Lateralfäche angelegt, dass er einen 90°-Winkel mit der Fazialfläche bildet. Dann wird der Schleifstein um 10 bis 20° nach außen gekippt, so dass nun der korrekte Winkel von 70° zwischen Fazial- und Lateralfäche durch kurze Auf- und Abwärtsbewegungen des Steins eingeschliffen werden kann. Man sollte darauf achten, den Schleifprozess stets mit einer Abwärtsbewegung (zur Schneidekante hin) zu beenden. Dies garantiert ein optimales Ergebnis, da so Schleifgrate vermieden werden (Pattison und Pattison 1992).

Die Empfehlung des Instrumentenherstellers Hu-Friedy (2012 a) weicht in seiner Beschreibung des optimalen Schleifprozesses etwas ab. Zunächst soll das mittlere Drittel der Fazialfläche ebenfalls waagrecht gehalten werden. Der Schleifstein wird nun parallel dazu unter die Schneidekante gelegt (9 bis 15 Uhr). Drucklos solle man den Winkel nun solange gegen 12 Uhr schließen, bis sich das verwendete Öl bei den Schleifbewegungen auf der Fazialfläche abstreift (Hu-Friedy 2012 a). Es ist darauf hinzuweisen, dass die Gefahr, den Winkel zu sehr zu verringern und die Schneidekante dadurch zu verschleifen, bei dieser Vorgehensweise erhöht ist. Etwas eindeutiger wird die Technik erst durch den späteren Hinweis, dass der Schleifstein für den korrekten Winkel bei 11 bzw. 13 Uhr zum Liegen kommen sollte. In einem Anleitungsvideo des Herstellers Hu-Friedy, welches auf der Internetplattform Youtube.com zu finden ist, wird dies deutlicher dargestellt. Hier heißt es, man solle den Winkel nur gegen 1 Uhr reduzieren, was dem korrekten Schleifwinkel entspricht (Hu-Friedy 2010).

Hu-Friedy empfiehlt, einen Keramikstein mit Wasser oder einen Arkansasstein mit Öl für das regelmäßige Schärfe zu verwenden. Zum Korrigieren verschliffener Küretten oder zum Schärfe extrem stumpfer Instrumente steht dem Behandler ein gröberer, synthetischer Indianastein zur Verfügung (Hu-Friedy 2012 a). Neben handelsüblichen Handschleifsteinen gibt es auch rotierende Schleifsteine. Laut Pattison und Pattison (1992) sind diese jedoch für unerfahrene Behandler eher ungeeignet, da der Anstellwinkel sowie der Metallabtrag schlecht zu kontrollieren sind. Die Autoren betonten, dass eine genaue Kenntnis des spezifischen Designs des Arbeitsteiles notwendig ist, um eine Gracey-Kürette gut zu schärfen. Sie empfahlen weiterhin, jedes Instrument schon beim ersten Anzeichen einer stumpfen Schneidekante nachzuschleifen. Stark abgestumpfte Küretten wären kaum mehr in die korrekte Form zu bringen (Pattison und Pattison 1992).

Paquette und Levin (1977) wiesen darauf hin, dass alle Schleiftechniken gleichermaßen zu sogenannten „Edge Burrs“ (Schleifgrate) führen können. Dies sind dünne, unregelmäßig auslaufende und flexible Metallfahnen, die über die Schneidekante hinausgehen. Je weicher das Material und je dünner die Kante ist, desto wahrscheinlicher sind solche Schleifgrate. Pattison und Pattison (1992) forderten, dass diese vor dem Einsatz der Kürette zur Parodontaltherapie entfernt werden müssen. Einige Hersteller bieten dafür konische Schleifsteine an, die durch Ausdrehen über die Fazialfläche geführt werden, so dass Grate vom Schärfen und Schleifen entfernt werden. Dabei muss man unbedingt beachten, dass der Schleifstein flach auf der Fazialfläche aufliegt, um die Schärfe der Schneidekante nicht zu reduzieren (Hu-Friedy 2012 a).

Im Gegensatz zu Pattison und Pattison (1992) betrachteten Paquette und Levin (1977) die Schleifgrate jedoch sogar als hilfreich beim Absprengen von Auflagerungen. Allerdings entsteht nur durch eine ebenmäßige Schneidekante eine glatte Wurzeloberfläche. Deshalb empfahlen die Autoren, unterschiedlich geschliffene Instrumentensätze für das Scaling

und die anschließende Wurzelglättung zu benutzen (Paquette und Levin 1977).

Andrade Acevedo et al. (2007) untersuchten die Schärfe von Küretten durch verschiedene Schleiftechniken und –materialien unter dem Elektronenmikroskop. Sie fanden signifikante Unterschiede. Bei Bewegung der Lateralfläche gegen den Schleifstein wurde eine präzise oder nur leicht irreguläre Schneidekante erreicht, während bei der Bewegung des Schleifsteins gegen die Lateralfläche des Instruments eine extrem unregelmäßige Schneidekante entstand. Auch rotierende Schleifsysteme (getestet wurden sowohl Aluminiumoxid-Schleifkörper als auch Filzräder mit abrasivem Puder) führten zu einer unregelmäßigen Schneidekante, zum Teil mit Ausprägung einer breiten Kante zwischen Fazial- und Lateralfläche. Das Schleifen der Fazialfläche resultierte in Schleifgraten, welche senkrecht zur Schneidekante abstanden. Obwohl solche Schleifgrate bei der Absprengung fest haftender Konkreme durchaus behilflich sein können, können sie zu tiefen Kratzern in der Wurzeloberfläche führen (Paquette und Levin 1977) und müssen deshalb entfernt werden. Auch bei der Überprüfung von fabrikneuen Küretten wurde keine exakt definierte Schneidekante aufgefunden. (Andrade Acevedo et al. 2007). Eine Auswahl der Ergebnisse ist in Tabelle 3 dargestellt.

Schleiftechnik	Resultierende Schärfe
Bewegung der Lateralfläche gegen einen flachen Arkansas-Schleifstein (Hu-Friedy), Winkel 100-110° zur Fazialfläche	Präzise definierte Schneidekante ohne Schleifgrate
Schärfen der Lateralfläche durch ein standardisiertes Schleifgerät (Premier Dental Products)	Leicht irreguläre Schneidekante, Schleifgrate
Rotierender Aluminiumoxid-Schleifstein (Shofu Dental Corp.) zunächst gegen die Fazialfläche, dann gegen die Lateralfläche, Bewegung zum Arbeitsende hin	Unregelmäßige Schneidekante, ausgeprägte Schleifgrate
Bewegung eines flachen Arkansas-Schleifsteins (Hu-Friedy) gegen die Lateralfläche, Winkel 100-110° zur Fazialfläche, beendet mit einer Abwärtsbewegung	Extrem unregelmäßige Schneidekante, zum Teil „dritte Fläche“ zwischen Lateral- und Fazialfläche, ausgeprägte Schleifgrate

Tabelle 3: Ergebnisse verschiedener Schleiftechniken (Andrade Acevedo et al. 2007). Eine präzise definierte Schneidekante wurde durch die Bewegung der Lateralfläche der Kürette gegen einen flachen Arkansas-Schleifstein erreicht.

2.7 Herkömmliches Küettenmaterial

Antonini et al. (1977) sprachen dem Material, aus dem das Arbeitsende einer Kürette gefertigt ist, eine maßgebliche Bedeutung für die Qualität des Instruments zu. Ferner stellten Tal et al. (1985) in ihrer Studie fest, dass der Verschleiß eines Parodontalinstruments entscheidend vom Härtegrad der für die Schneidekante verwendeten Legierung abhängt. Paquette und Levin (1977) betonten, dass die zu erreichende Präzision der Schneidekantenform einer Kürette primär auf die Härte und Elastizität des Metalls zurückzuführen sei. Je höher die Elastizität der Legierung ist, desto graziler und effektiver könne die Schneidekante gestaltet werden (Paquette und Levin 1977).

Als herkömmliches Material für die Schneidekanten von Küetten wird vor allem rostfreier Edelstahl verwendet, früher auch Karbonstahl (*Carbon Steel*), Hartstahl (*High Carbon Steel*) und Schnellarbeitsstahl (*High Speed Steel*).

Tal et al. (1985) untersuchten unterschiedliche Parodontalinstrumente aus gebräuchlichen Legierungen, indem sie diese an extrahierten, parodontal geschädigten Zähnen über die Wurzeloberfläche führten. Neben korrosionsbeständigem Edelstahl waren in dieser Studie Instrumente aus Schnellarbeitsstahl (*High Speed Steel*) und Karbonstahl im Einsatz. Die Ergebnisse bescheinigten den Küretten aus Edelstahl die größte Abnutzung. Die Küretten aus Schnellarbeitsstahl wiesen den geringsten Verschleiß nach andauerndem Einsatz auf. Die Autoren fügten hinzu, dass man die Effektivität der Edelstahlinstrumente steigern müsse, da diese trotz schlechterer Abnutzungsergebnisse von den meisten Behandlern eingesetzt würden (Tal et al. 1985).

In einer späteren Studie verglichen Tal et al. (1989) Edelstahlküretten mit Instrumenten aus Hartstahl (*High Carbon Steel*). Die Hartstahlküretten ließen keine signifikanten Beschädigungen der Schneidekante nach 15 Arbeitszügen erkennen und schnitten im Vergleich besser ab als die Instrumente aus Edelstahl. Nach 45 Arbeitszügen erwiesen sich nur noch 5 % der Edelstahlküretten als scharf, während noch 20 % der Hartstahlküretten eine hinreichende Schärfe zeigten (Tal et al. 1989).

Dennoch setzten sich Edelstahlküretten aufgrund der hohen Korrosionsbeständigkeit und der guten Widerstandsfähigkeit gegen Desinfektionsmittel und Aufbereitungsvorgänge auf dem Dentalmarkt durch. Die Verwendung von nichtrostenden Stählen für chirurgische Instrumente und andere Medizinprodukte gilt aufgrund jahrzehntelanger Erfahrung als gesundheitlich sicher und ist heute durch internationale Normen (ISO 7153-1) festgelegt (Heubner 2014). Der Kürettenhersteller American Eagle bietet mit seiner Serie *Talon Tough™* Gracey-Küretten aus Edelstahl an (American Eagle 2012). Der schweizerische Hersteller Deppeler führt seine neuen Edelstahlküretten unter dem Seriennamen CLEANext und auch Hersteller wie Hu-Friedy, Carl Martin und Aesculap fabrizieren handelsübliche Gracey-Küretten aus rostfreiem Edelstahl.

2.8 Methoden zur Verbesserung des Verschleißverhaltens in der Industrie

Um die Qualität der Behandlung zu gewährleisten, muss eine herkömmliche Kürette aus Edelstahl ständig neu geschliffen werden. Die Industrie sucht deshalb fortwährend nach Verbesserungsmöglichkeiten für die Haltbarkeit der Schneidekante. Sie soll eine effektive Reinigung der Wurzeloberfläche ermöglichen, ohne dabei schnell an Effektivität zu verlieren (Sisera et al. 2009). Auch in anderen Bereichen der Metallindustrie, speziell im Maschinenbausektor, sucht man Wege und Möglichkeiten, den Verschleiß der metallischen Bauteile durch eine Härtung der Oberfläche zu reduzieren. So wurden verschiedene Beschichtungen, mehrphasige Legierungen und Faserverbundstrukturen entwickelt, um Oberflächen mit verbesserten mechanischen Eigenschaften zu schaffen.

Kato (2000) verglich den Verschleiß verschiedener Beschichtungen miteinander. Der Autor geht davon aus, dass harte Beschichtungen den Verschleiß zwischen Oberflächen, welche sich in Relativbewegungen befinden und aufeinander einwirken, wesentlich reduzieren können. Seine Versuche ergaben unter anderem, dass ein mit Titannitrid (TiN), Titanbornitrit (TiBN), Titandiborid (TiB₂), Titanborcarbonitrid (TiBCN) oder Titanborcarbid (TiBC) beschichteter Stahlkörper einen niedrigeren Verschleiß aufwies als ein unbeschichteter Stahlkörper. Bei Beschichtungen mit TiBC betrug der Verschleiß ungefähr ein Zehntel der Abnutzung eines unbeschichteten Stahlkörpers, während seine Härte nahezu das Zehnfache von Stahl aufwies. Bei sehr harten Beschichtungen kann es jedoch zum Abplatzen der Beschichtung kommen. Das Überschreiten einer bestimmten Schichtstärke und das Auftreten hoher Zugspannungen an der Oberfläche können zum Verlust der Beschichtung führen, weshalb die Oberfläche möglichst glatt gestaltet werden soll (Kato 2000).

Des Weiteren können halbleitende Beschichtungen, basierend auf Eisen und Nickel, den Verschleiß verringern (Weisheit und Wissenbach 2009). Diese werden durch Laserauftragschweißen auf Oberflächen aufgebracht, wobei ein aufgetragenes Pulver durch einen Laserstrahl mit der Oberfläche verschmolzen wird. Die entstehende 0,1 bis 2 mm dicke Oberflächenschicht bewirkt ein geringeres Verschleißverhalten (Weisheit und Wissenbach 2009).

Eine weitere technische Neuerung in der Oberflächenbehandlung zur Härtesteigerung stellen ausscheidungsgehärtete Edelstähle dar, welche bereits in der Kraftwerksindustrie und dem Luftfahrtsektor genutzt werden. Anders als vergüteter Stahl, der seine Härte durch die Ausformung des martensitischen Gittergefüges erhält, erlangt der ausscheidungsvergütete Stahl seine Härte durch Laservergütung, bei der kleinste Partikel, beispielsweise Kupferpartikel, ins Martensitgitter präzipitiert werden. Dadurch wird die Oberflächenhärte signifikant erhöht (Kaspar et al. 2009).

Dahl et al. (2009) untersuchten eine weitere Methode der Härtung mittels Pastenborierung. Dieses Verfahren basiert auf der Diffusion von Bor in die Randschicht des Werkstücks. Die entstehende Schicht weist eine gute Verankerung zum Stahl auf und ist 0,02 bis 1 mm dick. Die Autoren fanden im Versuch eine Härtesteigerung auf bis zu 2000 HV im Mikrohärtetest (Dahl et al. 2009).

2.9 Vergütete Küretten

Anders als beispielsweise im Maschinenbausektor hat die Beschaffenheit des Arbeitsteils einer Kürette einige spezielle Voraussetzungen zu erfüllen. Für den Einsatz am Patienten sind die Biokompatibilität des Werkstoffes und die Sterilisierbarkeit wichtige Faktoren. Deshalb kommen nur spezielle Härtungsverfahren für Küretten in Frage. Außerdem erhöht sich die Gefahr von Brüchen, wenn die Arbeitsteile der Küretten zu hart werden, also muss ein Kompromiss zwischen Härte und Elastizität getroffen werden.

Die EverEdge®-Küretten des Herstellers Hu-Friedy bestehen aus einer Edelstahllegierung, die durch spezielle Wärmebehandlungen und Tieftemperaturtechniken extrem hart und haltbar gemacht wird. Der Hersteller gibt an, dass die kryogen vergüteten Schneidekanten bis zu 50 % länger scharf bleiben als die Schneidekanten herkömmlicher Instrumente. Da es sich um keine reine Oberflächenbeschichtung handelt, können diese Instrumente problemlos nach Bedarf geschliffen werden. Laut Hersteller soll sich durch diese Temperaturbehandlung eine bessere Kantenabriebfestigkeit und Haltbarkeit als durch Titannitrid-Beschichtungen ergeben (Hu-Friedy 2012 b).

Auch der finnische Instrumentenhersteller LM hat mit seiner Serie DuraGradeMAX vergütete Küretten auf den Markt gebracht. Laut LM ist der hochlegierte Klingenstahl der Schneidekanten ebenfalls durch eine spezielle Kältebehandlung besonders verschleißfest. Man müsse die Küretten nicht schärfen und schleifen, um die Qualität der klinischen Leistung über einen begrenzten Zeitraum aufrechtzuerhalten (LM 2013).

2.9.1 Mechanismus kryogener Vergütung

Als Stahl wird legiertes Eisen mit einem Kohlenstoffanteil von unter 2 % bezeichnet. Industrieller Kohlenstoffstahl enthält weniger als 1,3 % Kohlenstoff, während Gusseisen aus 2 bis 4 % Kohlenstoff besteht. Die Kohlenstoffatome können Lücken im Kristallgitter zwischen den Eisenatomen besetzen. Größere Legierungsatome wie Nickel- oder Chromatome bilden Substitutionsmischkristalle, indem sie den Platz eines Eisenatoms einnehmen. Stahl besitzt verschiedene allotrope Modifikationen, das heißt er liegt je nach Kohlenstoffgehalt und Temperatur in verschiedenen Phasen vor. Die flüssige Phase ist die *Schmelze*, welche oberhalb der Liquidustemperatur vorliegt. Unterhalb dieser Temperatur entstehen beim Abkühlen verschiedene Mischkristalle, die sich nur in ihrer Gitterstruktur unterscheiden. Während α - und δ -Ferrit ein kubisch-raumzentriertes Gitter besitzen, sind γ -Mischkristalle kubisch-flächenzentriert. Letztere werden auch als *Austenit* bezeichnet. Im

metastabilen System liegt zudem Eisencarbid (Fe_3C), auch *Zementit* genannt, vor (Berns und Theisen 2008).

Für die Stahlbearbeitung ist das Verhalten des Kristallgefüges besonders beim Abkühlvorgang von großer Bedeutung. Beim langsamen Abkühlen entstehen die Gefügeformen *Perlit* und *Lederburit*, welche zu einem bestimmten Prozentsatz Zementit enthalten. Das thermodynamische Gleichgewicht bleibt bestehen. Steigert man die Geschwindigkeit der Temperaturänderung, entsteht ein gleichgewichtsfernes Gefüge. Durch ein schnelles Abschrecken (Abkühldauer unter 3 Sekunden) gelingt die Umwandlung des Austenits zum *Martensit*, welcher eine wesentlich größere Härte aufweist. Das kubisch-flächenzentrierte Kristallgitter des Austenits wird durch diffusionslose Schiebungsumwandlung zum raumzentrierten Kristallgefüge. Die Kohlenstoffatome verbleiben dabei im Gefüge, das dadurch stellenweise aufgeweitet wird. Daraus resultieren eine Volumenzunahme und eine tetragonale Verzerrung des raumzentrierten Gitters, wodurch Martensit in einer tetragonal-raumzentrierten Form vorliegt. Mit steigender Anzahl der Fehlordnungen steigt die Härte des Gefüges (Berns und Theisen 2008).

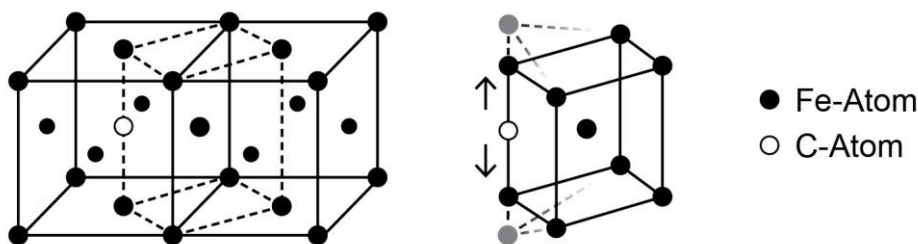


Abbildung 2: Umwandlung des kubisch-flächenzentrierten Austenits in den raumzentrierten Martensit. Die für die raumzentrierte Form in Frage kommenden Atome sind gestrichelt dargestellt. Ein gelöstes Kohlenstoffatom bleibt im kubisch-raumzentrierten Martensitgitter erhalten, obwohl die Lücken kleiner sind. Durch die Verspannung ergibt sich eine höhere Härte. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt kommt es zur tetragonalen Verzerrung des Gitters (Berns und Theisen 2008).

Der Kürettenhersteller Hu-Friedy gibt an, die Schneidekanten der EverEdge®-Küretten mittels eines patentierten Herstellungsverfahrens speziell zu härten. Nach Sisera et al. (2009) handelt es sich hierbei um eine kryogene Vergütung des Stahls. Bei der kryogenen

Tieftemperaturmethode werden die Instrumente für bis zu 100 Stunden bei -175°C bis -196°C gelagert, wodurch eine höhere Härte der Schneidkante entsteht. Diese Behandlung induziert kristallographische und mikrostrukturelle Veränderungen, was zu einem um 20 bis 40 % geringeren Verschleiß des Stahls führt (Łataś und Ciski 2006). Durch die sehr tiefen Temperaturen kann eine Umwandlung des nach dem Abschrecken verbliebenen Austenits zum härteren Martensitgefüge erfolgen. Auch die Dimensionsstabilität wird durch die kryogene Vergütung gesteigert. Als Grund für das verbesserte Verschleißverhalten führten die Autoren an, dass es beim Tempern nach der kryogenen Behandlung zu sehr feinen Karbidausfällungen in der Struktur kommt. Unter Tempern versteht man, dass der Stahl erneut etwas erhitzt wird, um die entstandenen Spannungen und die spröde Glashärte des Kristallgefüges zu vermindern. Die gleichmäßig verteilten Karbideinlagerungen im Stahl nach der kryogenen Behandlung verringern die Abnutzung des Stahls beim Auftreten von Friktionskräften (Łataś und Ciski 2006).

Kelkar et al. (2007) untersuchten die Effekte einer kryogenen Tieftemperaturbehandlung auf die Eigenschaften von Stahl. Dafür stellten sie in ihrer Studie mehrere Verfahrenstechniken zur Härtung industriellen Stahls gegenüber. Alle Proben wurden zunächst umwandlungsgehärtet. Damit ist das *Austenitieren* des Eisens bei 1200°C gemeint. Durch das Abschrecken mit flüssigem Stickstoff entstand ein Martensitgefüge. Nach diesen gemeinsamen Schritten durchliefen die Proben unterschiedliche Prozesse. Um entstandene Spannungen und die sehr spröde Härte des Martensits zu reduzieren, wurde der Stahl beim sogenannten *Tempern* oder *Anlassen* wieder für zwei Stunden auf 565°C erhitzt. Die kryogene Tieftemperaturbehandlung wurde für 40 Stunden bei -184°C durchgeführt.

Einige Proben wurden nach dem Austenitieren und Abschrecken nur angelassen oder durchliefen nur eine kryogene Tieftemperaturbehandlung. Andere Proben durchliefen beide Prozesse in verschiedener Reihenfolge. Die Proben wurden anschließend auf Änderungen in der Mikrostruktur sowie auf ihre Härte hin untersucht. Die

höchste Härte (64,9 Rockwellhärte C) wurde durch die alleinige kryogene Tieftemperaturbehandlung direkt nach dem Abschrecken erreicht. Die Autoren führten dies auf die Umwandlung des gesamten Restaustenits zum härteren Martensit zurück. Proben, die nach dem Abschrecken angelassen und kryogen behandelt wurden, wiesen eine um 1 HRC (Rockwellhärte C) höhere Härte auf als nur angelassene Proben. Auch hier wird der weichere Restaustenit durch die extrem tiefe Temperatur in Martensit umgewandelt. Durch das vorangegangene Tempern fanden Kelkar et al. (2007) zudem auch sehr feine Karbidausfällungen. Diese verursachen zwar keine Härtesteigerung, können jedoch zur Verfeinerung der Kristallstruktur führen und die Verschleißresistenz des Instruments erhöhen. Die Autoren betonen, dass das richtige Verhältnis zwischen Härte und Zähigkeit des Stahls für die Herstellung eines verschleißarmen Instrumentes entscheidend sei. Proben, die erst nach der kryogenen Tieftemperaturbehandlung das Tempern durchliefen, erzielten die besten Ergebnisse. Laut Kelkar et al. (2007) zählen Prozesse zur kryogenen Vergütung mit nachfolgendem oder vorangegangenem Tempern zum Standard der Herstellung von Instrumenten. Zusammenfassend bestätigten die Autoren kryogen vergütetem Stahl ein verbessertes Verhältnis zwischen Härte und Zähigkeit. Der Effekt sei jedoch nur gering und schwer zu quantifizieren (Kelkar et al. 2007).

Singh und Singh (2012) untersuchten kryogen behandelte industrielle Schneideinstrumente aus Schnellschnittstahl auf eine Verbesserung des Verschleißverhaltens. Auch sie stellten eine verfeinerte, gleichmäßigere Struktur des Stahls sowie fein verteilte Metallkarbide nach der Tieftemperaturbehandlung fest. Die Oberflächenbeschaffenheit und das Verschleißverhalten der Instrumente wurden dadurch signifikant verbessert, die kryogen vergüteten Schneidekanten konnten doppelt so lange eingesetzt werden (Singh und Singh 2012).

2.9.2 Angaben der Kürettenhersteller

Die Hersteller der neuartigen, kryogen vergüteten Küretten beziehen sich auf Studien, welche die Überlegenheit des jeweiligen Produkts bescheinigen sollen.

Vom Hersteller in Auftrag gegebene Studien

Der finnische Kürettenhersteller LM verweist auf eine Untersuchung des finnischen Forschungsinstituts VTT. Diese Studie wurde von LM in Auftrag gegeben und ergab, dass die DuraGradeMAX-Küretten einen geringeren Verschleiß gegenüber Küretten amerikanischer Hersteller haben (LM Broschüre 2013, zitiert wurde Helle 2006). Es wurden jeweils zwei Schneidekanten der kryogen behandelten Küretten von LM und Hu-Friedy, sowie Titannitrid-beschichtete Küretten von American Eagle und Küretten eines koreanischen Herstellers auf ihr Verschleißverhalten nach 225 Arbeitszügen mit einer definierten Kraft von anfangs 4,9 Newton geprüft. Die Druckkraft wurde in bestimmten Abständen bis auf 7,4 Newton gesteigert. In den anschließenden rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen zeigten die koreanischen Küretten flächige Abnutzungen der Schneidekante mit einer Breite von 46,0 und 53,8 μm . Die Küretten von Hu-Friedy, American Eagle und LM zeigten ähnliche, aber geringere Abnutzungserscheinungen: die Breite der Abnutzungsfläche betrug bei LM 17,6 und 18,6 μm , bei Hu-Friedy 18,5 und 18,7 μm und bei American Eagle 17,9 und 23,0 μm . Die Abnutzungen der Küretten der beiden amerikanischen Hersteller und des finnischen Herstellers unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Der Hersteller Hu-Friedy wirbt für seine kryogen vergüteten Küretten der EverEdge-Technology[®] mit einer höheren Verschleißfestigkeit der Schneidekanten gegenüber Instrumenten mit Titannitrid-Beschichtung anderer Hersteller. Der Hersteller verweist auf seiner Internetseite auf die unabhängige Studie von Sisera et al. (2009), in der die Schneidekanten von Küretten mit Titannitrid-Beschichtung (American Eagle, Deppeler) und

herkömmlicher Edelstahlküretten (Deppeler) mit den Schneidekanten kryogen behandelter Küretten von Hu-Friedy verglichen wurden. Zwischen den verschiedenen Küretten wurde von Sisera et al. (2009) jedoch kein statistisch relevanter Unterschied im Verschleiß gefunden.

2.10 Küretten mit Beschichtung

Der Kürettenhersteller American Eagle produziert seit einigen Jahren Küretten mit einer Oberflächenbeschichtung aus Titannitrid (TiN). Die Küretten der Serie XP-Technology™ („Extreme Performance“) besitzen durch das aufgebrachte Titannitrid goldfarbene Arbeitsenden. American Eagle lässt über den Herstellungsprozess nur so viel verlauten, dass auf das Basismaterial der Schneidekanten mittels Nanotechnologie eine dünne Oberflächenschicht aus Titannitrid aufgebracht wird. Dessen Schichtdicke beträgt 0,6 bis 1,4 µm (Sisera et al. 2009). Der patentierte Herstellungsprozess führt laut American Eagle zu einer äußerst glatten und defektfreien Schneidekante, die auch wesentlich graziler gestaltet werden kann als mit herkömmlichen Materialien. Laut Herstellerangaben weisen die Instrumente der XP-Technology™ signifikant weniger Verschleiß der Schneidekantenkontur auf, als ein herkömmliches Edstahlinstrument. Dies führe zu einer besonderen Langlebigkeit von Küretten mit Titannitrid-Beschichtung. Die TiN-beschichteten Schneidekanten können nicht geschärft und geschliffen werden (American Eagle 2012, Loser & Co. 2013).

2.10.1 Prozesse zur Oberflächenbeschichtung mit Titannitrid

Zu den Materialeigenschaften von Titannitrid zählen dessen hohe Härte, Verschleißfestigkeit und Temperaturbeständigkeit. Auch zeichnet sich Titannitrid durch eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit aus, was auf einen dünnen Oxidfilm auf der Oberfläche zurückzuführen ist. Piippo et al. (1993) weisen aber gleichzeitig darauf hin, dass es bei TiN-beschichteten Metallen trotzdem zur Korrosion des Basismaterials

kommen kann, falls Poren und Defekte durch die Beschichtung hindurch reichen.

Es sind verschiedene Prozesse zur Beschichtung einer Oberfläche mit TiN bekannt. Mattox beschreibt im „*Handbook of Physical Vapour Deposition*“ (1998) die physikalische Abscheidung aus der Gasphase (Physical Vapour Deposition) als einen gängigen Prozess der Beschichtungstechnik. Diese Herstellungstechnik ist ein atomarer Anlagerungsprozess, bei dem zunächst eine Festkörperoberfläche (Titan) mit hochenergetischen Ionen beschossen wird. Durch den Aufprall der Ionen lösen sich Atome aus der Oberfläche des Titans, was als *Sputtern* bezeichnet wird (Abbildung 3).

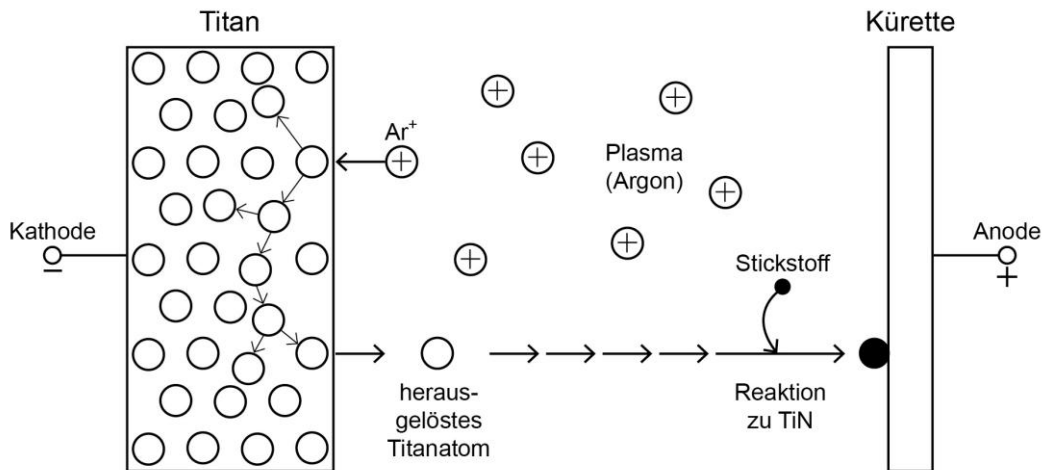


Abbildung 3: Ablauf eines Sputterprozesses

Die notwendigen hochenergetischen Ionen werden in einem (teilionisierten) Plasma erzeugt, welches den Raum zwischen dem Titan und der Substratoberfläche (Kürette) füllt. Als Plasmagas werden Edelgase wie Argon oder Xenon verwendet. Die Elektronen im Plasma werden durch das angelegte elektrische Feld beschleunigt, prallen auf neutrale Teilchen des Gases und ionisieren diese. Die positiv geladenen Ionen werden nun zur Anode hin beschleunigt, welche am Titan anliegt. Hier lösen sie durch ihren Aufprall eine Stoßkaskade aus, wobei durch Impulsübertragung Titanatome aus der Oberfläche herausgeschlagen

werden. Die Titanatome diffundieren nun durch das Plasma zur Substratoberfläche. Durch Zugabe von Stickstoff zum Plasmagas können die Titanatome dabei zu Titannitrid reagieren, das sich dann an der Substratoberfläche (Kürettenoberfläche) anlagert. Die Reaktion der Titanatome mit Stickstoff zum Titannitrid ist mit einer Änderung des Metallgitters verbunden. Der Stickstoff kann bestimmte interstitielle Gitterplätze innerhalb der Titanstruktur einnehmen. Während Titan in einer hexagonalen Struktur vorliegt, ist durch die Einlagerung des Stickstoffs eine Strukturumwandlung zur kubisch-flächenzentrierten Gitterstruktur nötig. Dies bewirkt eine Verringerung der Korngröße (Mattox 1998).

Gorokhovsky et al. (2006 b) beschrieben eine Weiterentwicklung dieser Technik, die bei American Eagle Instruments verwendet wird. Der Prozess wird als LAFAD (= Large-area filtered arc desposition) bezeichnet und soll die Beschichtung komplexer Oberflächen, wie die Arbeitsenden einer Kürette, optimieren (Gorokhovsky et al. 2006 a). Dabei werden durch mehrere Spulen Magnetfelder erzeugt, welche die Titanatome bogenförmig ablenken und zu einem Strahl bündeln, um eine möglichst effektive Anlagerung an die Substratoberfläche zu erreichen. Der Strahl erreicht eine zylindrische Vakuumkammer, in der in einer rotierenden Halterung bis zu 1400 Instrumente zeitgleich beschichtet werden können. Den Ablauf stellten Gorokhovsky et al. (2006 b) wie folgt dar: Zunächst werden die Kürettenrohlinge aus martensitischem 440A-Stahl im Ultraschallbad gereinigt und anschließend bei 150° C getrocknet. In der Vakuumkammer werden die Instrumente bei einem Druck von 6×10^{-4} Pa für eine Stunde auf 400° C erhitzt. Nach einer darauf folgenden Ionenreinigung und Ionenätzung der Küretten wird eine initiale Verbindungsschicht aufgetragen. Diese ist notwendig, um das relativ weiche Metall des Arbeitsteils mit der harten Titannitrid-Beschichtung optimal zu verbinden. Nun folgt das Anlagern der Ti/TiN-Mehrschicht-Beschichtung durch wechselnde Zusammensetzung des Plasmagases. Durch die Zugabe von Stickstoff entsteht wiederum Titannitrid. Die komplexe Struktur der Beschichtung, die durch die patentierte Technik

entsteht, kann die Verschleißbeständigkeit nochmals steigern. Auch sollen durch den LAFAD-Prozess störende Makropartikel und Wachstumsdefekte innerhalb der Beschichtung vermieden werden (Gorokhovsky et al. 2006 b).

Neben der physikalischen ist die TiN-Beschichtung auch durch chemische Gasphasenausscheidung möglich. Hierbei wird die Substratoberfläche erhitzt, um eine chemische Reaktion der Gasphase in Gang zu setzen. Durch diese werden die Beschichtungsteilchen an die Substratoberfläche abgeschieden (Mattox 1998).

2.10.2 Werbeaussagen der Hersteller

Der Instrumentenhersteller American Eagle wirbt damit, dass die Beschichtung den Kürettenschneidekanten zu einer besonderen Langlebigkeit ver helfe und sie aufgrund der hervorragenden Härte nie geschärft und geschliffen werden müssen. Der Produktwerbung sind Graphiken und Studienergebnisse beigefügt, die den Anschein erwecken, die Überlegenheit der Küretten wissenschaftlich zu belegen. Gestützt wird dies auf Untersuchungen durch Dr. Philip A. Watson der Universität Toronto. Diese Untersuchungen sind durch Gorokhovsky et al. (2006 b) beschrieben. Die Studie von Dr. Watson wird als unabhängige Untersuchung bezeichnet, die Testergebnisse sind jedoch nur in dem Artikel von Gorokhovsky et al. (2006 b) dargelegt, wobei zwei der vier Autoren Mitarbeiter von American Eagle Instruments waren.

Dem Artikel zufolge wurden an der Universität Toronto TiN-beschichtete Küretten der Firma American Eagle in einer standardisierten Apparatur getestet, wobei die Länge der Arbeitszüge 20 mm betrug und der Druck einem Gewicht von 120 g entsprach. Bei sieben beschichteten Küretten wurde jeweils nach 0, 500, 2000 und 5000 Arbeitszügen die Breite der Abnutzung an der Schneidekante gemessen und mit der entsprechenden Abnutzung von vier unbeschichteten Schneidekanten verglichen. Die Breite bei den beschichteten Schneidekanten betrug nach 5000 Arbeitszügen durchschnittlich 3,4 µm. Die unbeschichteten

Schneidekanten wiesen nach 5000 Arbeitszügen mit 35 µm eine um das 10-fache breitere Fläche zwischen Fazial- und Lateralfäche auf. Gorokhovskiy et al. (2006 b) fassten weitere Untersuchungen zusammen, welche die Abnutzung von beschichteten und unbeschichteten Schneidekanten verglichen. Die Autoren resümierten, dass in vier voneinander unabhängigen Untersuchungen eine 10-fach gesteigerte Beständigkeit der beschichteten Schneidekanten gefunden wurde. Dabei stellten sich zehn Schichten in Mehrschichttechnik (TiN/Ti) als optimal heraus. Die Dicke der Beschichtung betrug bei manchen getesteten Küretten 3 µm (Gorokhovskiy et al. 2006 b).

In der Produktwerbung von American Eagle befindet sich außerdem eine Abbildung über den Härtegrad von XP-Küretten im Vergleich zu Küretten, die kryogen gehärtet wurden. Die Grafik ist in einem Artikel von Gorokhovskiy et al. (2006 a) dargestellt. Als Wert wird für Titannitrid-beschichtete Küretten „89 Rc“ (Rockwell) angegeben (Abbildung 4).

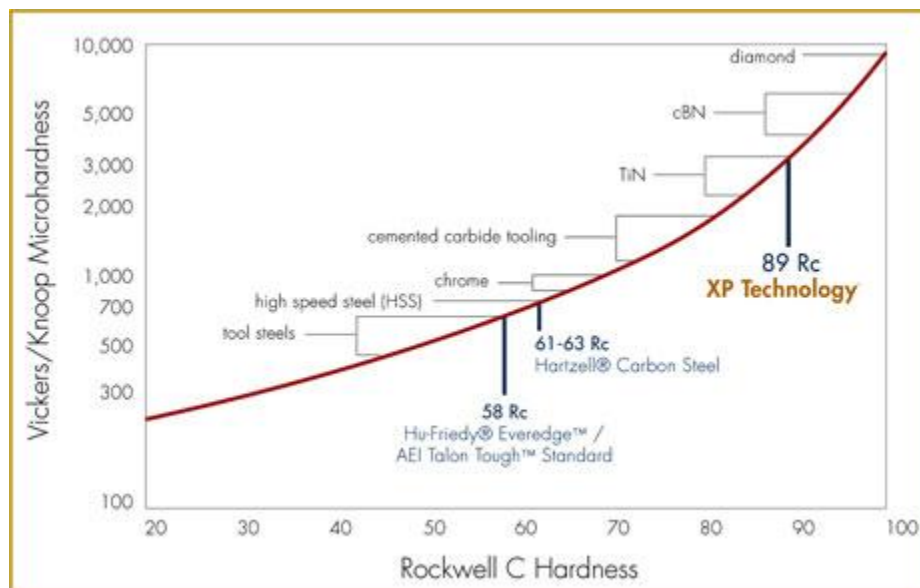


Abbildung 4: Werbung des Herstellers American Eagle für die Härte der neuartigen Titannitrid-beschichtete-Küretten (Loser & Co 2013). Die Grafik entstammt einem Artikel von Gorokhovskiy et al. (2006 a).

Die Überprüfung der Materialhärte ist von großer Bedeutung für die Qualitätssicherung in der Industrie (Herrmann 2011). Dabei ist Härte keine gegebene Materialeigenschaft (Chandler 1999), sondern kann definiert

werden als Fähigkeit eines Körpers, dem Eindringen eines anderen Körpers einen bestimmten Widerstand entgegenzusetzen. Je größer der Widerstand eines Körpers ist, unter dem Druck des Prüfkörpers zu deformieren, desto härter ist das Material. Die Härte hängt dabei von der Materialstruktur, insbesondere von der Atomstruktur und deren Bindungskräften ab (Herrmann 2011). Um Härte zu quantifizieren, ist eine gegebene Prüfkraft sowie eine spezifische Form des Prüfkörpers nötig (Chandler 1999). Die Messergebnisse sind dabei nicht als absolut anzusehen und hängen stark von der jeweils angewandten Messmethode ab (van Landingham 2003).

Traditionelle Härtetestmethoden beruhen auf einer einzelnen statischen Kraftapplikation (van Landingham 2003). Dabei kann die Makrohärteprüfung mit Prüfkörpern über 1 kg von der Mikrohärteprüfung unter 1 kg unterschieden werden. Letztere wird vor allem bei sehr dünnen und spröden Materialien eingesetzt (Chandler 1999, Gorokhovskiy 2006 a). Auch aufgrund der Form des Prüfkörpers können die Testverfahren unterschieden werden. Die Härte bei der Prüfung nach Brinell und Vickers ist definiert als Quotient aus Prüfkraft und Eindrucksfläche, wobei die Brinell-Härteprüfung eine Kugel, die Vickers-Härteprüfung eine gleichseitige Pyramide als Prüfkörper verwendet. Die Härte nach Knoop definiert sich über die Prüfkraft und der Länge der langen Diagonalen des Eindrucks, den eine rhombische Diamantspitze im Material hinterlässt. Die Rockwell-Härteprüfung verwendet einen kugel- oder kegelförmigen Prüfkörper, wobei sich die Härte durch die Tiefe des Eindrucks ins Material definiert (Polzin 2011).

Auch die Einsatzgebiete der Härteprüfverfahren unterscheiden sich. Während die Brinell-Härteprüfung vorwiegend bei Gusseisen und Schmiedeteilen angewandt und die Prüfungen nach Vickers und Knoop für kleine und dünne Materialien sowie in der Mikrohärteprüfung verwendet wird, ist die Rockwell-Härteprüfung die am weitesten verbreitete Härteprüfung mit einer breit gefächerten Indikation (Wilson

Instruments 2004). Die Unterschiede der Härteprüfverfahren sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Härteprüfung	Form des Prüfkörpers	Indikation
Brinell	Kugel	Guss- und Schmiedeteile
Vickers	Gleichseitige Pyramide	Kleine und dünne Materialien
Knoop	Rhombische Pyramide	Kleine und dünne Materialien
Rockwell	Kugel/ Kegel	Breite Indikation

Tabelle 4: Unterschiede der Härteprüfverfahren (Chandler 1999, Wilson Instruments 2004)

Indem die Rockwell-Härteprüfung unterschiedliche Prüfkörper und Prüfkraften einbezieht, ist es möglich, die Härte der meisten Metalle und Legierungen zu bestimmen. Die Messung der Härte erfolgt dabei über die Messung der Eindrucktiefe des Prüfkörpers. Zunächst wird eine Vorlast appliziert, um mit dem Prüfkörper oberflächliche Rauigkeiten zu überwinden. Daraufhin wird die Hauptlast hinzugefügt und die Differenz der Eindruckstiefen gemessen. Beim konventionellen Rockwell-Härtetest beträgt die Vorlast 10 kg, die Nachlast zwischen 60 und 100 kg. Davon unterscheidet sich die Oberflächen-Rockwell-Härteprüfung mit einer Vorlast von nur 3 kg und einer Hauptlast zwischen 15 und 45 kg (Chandler 1999).

Eine korrekte Messung der Härte mittels Rockwellverfahren kann jedoch nur durchgeführt werden, wenn man zunächst die richtige Rockwell-Skala bestimmt. Dabei muss nicht nur zwischen Makro- und Mikrohartprüfung mit jeweils drei Hauptlasten entschieden werden, sondern auch zwischen kegelförmigen Diamantprüfkörpern und Kugelprüfkörpern aus Stahl. Dies führt zu insgesamt 30 verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten, welche durch einen Buchstaben gekennzeichnet werden. So bezeichnet HRC beispielsweise die Rockwell-Härteprüfung nach der Skala C mit kegelförmigem Diamantprüfkörper und einer Hauptlast von 150 kg. Diese Skala wird laut Norm ASTM E18 typischerweise für gehärteten Stahl, harte Gusslegierungen, Tempergusseisen, perlitischen Grauguss und Titan angewandt (Wilson Instruments 2004).

Die gewählte Skala muss die erforderliche Sensitivität und Wiederholbarkeit erfüllen. Dies wird durch Variablen wie der Metalldicke und der Größe der Fläche des zu testenden Metalls maßgeblich beeinflusst. So muss die Dicke des Materialstücks mindestens das Zehnfache der Eindringtiefe des Prüfkörpers entsprechen, wodurch die Wahl der Skala durch die Materialdicke determiniert wird. Auch die verfügbare Fläche des Testmaterials ist ausschlaggebend für eine verwertbare Testung, da sich das Material verbiegt, wenn die Härteprüfung zu nah am Rand durchgeführt wird.

Um die Rockwellhärte nach der Skala C aus der Eindrucktiefe zu berechnen, wird folgende Formel verwendet:

$$\text{HRC} = 100 - h/0,002$$

Die erreichbaren Werte liegen bei der Skala C zwischen 20 HRC und 70 HRC (Polzin 2011). Der von American Eagle dargestellte Wert für die Härte der XP-Technology™ wird dagegen mit „89 Rc“ angegeben (American Eagle 2012, Gorokhovsky et al. 2006 a).

Im Artikel von Gorokhovsky et al. (2006 a) ist nicht aufgeführt, wie und bei welcher Schichtstärke des Titannitrids dieser Härtewert gemessen wurde. Die Autoren schreiben, die Grafik stelle lediglich die Relation zwischen Mikrohärteprüfung und Rockwellhärte dar, um die diamantenähnliche Härte der XP-Technology™ zu belegen. Im Falle von spröden Materialien wie Titannitrid müsse die Mikrohärteprüfung statt eines Rockwell-Härtetests durchgeführt werden (Gorokhovsky et al. 2006 a).

2.11 Unabhängige Studien über neuartige Küretten

Bislang sind zur Nutzbarkeit der neuartigen Küretten – mit Ausnahme der Untersuchung von Sisera et al. (2009) – nur Studien in den Produktwerbungen der Hersteller auffindbar, welche in Auftrag gegeben wurden (LM-Broschüre 2013: Helle 2006) oder an den Mitarbeiter der Hersteller beteiligt waren (American Eagle 2012, Gorokhovsky et al. 2006 a und b).

Sisera et al. (2009) verglichen jeweils neun Küretten mit Titannitrid-Beschichtung des Herstellers American Eagle und neun beschichtete Küretten der schweizerischen Firma Deppeler miteinander. Auch die kryogen behandelten Küretten des amerikanischen Instrumentenherstellers Hu-Friedy sowie eine herkömmliche Kürette aus Edelstahl von Deppeler waren in der Studie im Einsatz. Um die Effektivität der Küretten zu untersuchen, wurde die Parodontalbehandlung in vitro an Wurzeln extrahierter Zähne simuliert. Nach 10 Arbeitszügen mit einem Druck von ca. 2,5 Newton (250 ± 50 g) mit einer Kürette wurde der Substanzabtrag gemessen. Daraufhin wurden mit dem gleichen Instrument 490 Züge mit einem Druck von ca. 4,9 Newton (500 ± 50 g) ausgeführt und der Substanzabtrag der 10 folgenden Züge (mit dem gleichen Druck) erneut gemessen. Dieser Ablauf wurde nochmals wiederholt. In der Auswertung stellten die Autoren fest, dass sich auch nach 1010 Zügen mit den neuartigen Instrumenten kein signifikanter Verlust der Effektivität einstellte. Allerdings traf dies auch für die Kontrollkürette aus Edelstahl zu. Die ermittelte Dicke der Titannitridschicht der beschichteten Küretten von American Eagle lag bei 0,6 bis 1,4 μm (Sisera et al. 2009).

3 Material und Methode

In einer klinischen Versuchsreihe und in einem standardisierten Versuchsaufbau wurde das Verschleißverhalten von acht verschiedenen Gracey-Küretten von sechs Herstellern untersucht.

3.1 Verwendete Küretten

Alle Küretten wurden durch den zentralen Einkauf der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des Klinikums der Universität München von Dentaldepots bezogen. Weder bei der Autorin noch beim Betreuer der vorliegenden Doktorarbeit bestand ein Interessenskonflikt.

Im Rahmen der klinischen Studie wurden insgesamt 93 Küretten eingesetzt, 53 davon waren herkömmliche Fabrikate aus Edelstahl. Des Weiteren befanden sich 20 Küretten mit kryogen vergüteten Schneidekanten sowie 20 Instrumente mit neuartiger Titannitrid-Beschichtung darunter (Tabelle 5).

Von den Herstellern A und C wurden in der klinischen Studie Gracey-Küretten zur Reinigung der Distalflächen (13/14) und Mesialflächen (15/16) der Seitenzähne des Ober- und Unterkiefers verwendet. Vom Hersteller B waren zum Bestellzeitpunkt nur Gracey-Küretten zur Reinigung der Mesialflächen mit der Nummerierung 11/12 verfügbar.

Bei doppelendigen Instrumenten können mit einem Arbeitsende die von oral zugänglichen distalen bzw. mesialen Flächen der Seitenzähne gereinigt werden, mit dem anderen Arbeitsende die entsprechenden von bukkal zugänglichen Flächen. Die Beschränkung der Studie auf diese Einsatzmöglichkeiten erleichterte den späteren Vergleich. Die zweiten Oberkiefermolaren sind, neben den Inzisivi, als Risikozähne für besonders ausgeprägten Attachmentverlust und Konkrementablagerungen anzusehen (Carranza 1990). Auch sind die mesialen und distalen

Zahnfleischtaschen oft tiefer, als die an den Bukkal- und Oralflächen der Zähne.

Hersteller	Bezeichnung	Material	Preis	Anzahl
Hersteller A: American Eagle*	Talon Tough™ Gracey 13-14	Edelstahl	57,00 €	10
	Talon Tough™ Gracey 15-16	Edelstahl	57,00 €	10
	XP-Technology™ Gracey 13-14	TiN-beschichtet	85,56 €	10
	XP-Technology™ Gracey 15-16	TiN-beschichtet	85,56 €	10
Hersteller B: Deppeler**	CLEANext 11/12	Edelstahl	59,50 €	10
Hersteller C: Hu-Friedy***	#13/14 After Five Rigid (Griff 7)	Edelstahl	52,48 €	11
	#15/16 After Five Rigid (Griff 7)	Edelstahl	52,48 €	12
	#13/14 After Five Rigid EverEdge® (Griff 9)	Kryogen vergütet	57,12 €	10
	#15/16 After Five Rigid EverEdge® (Griff 9)	Kryogen vergütet	57,12 €	10

Tabelle 5: Übersicht der eingesetzten Küretten der klinischen Versuchsreihe (alle Preise inkl. MwSt.: *loser.de (30.12.2015), **adsystems.de (30.12.2015), *shop.nwd.de (30.12.2015))**

Im standardisierten Versuch wurde an einer Apparatur die Abnutzung von Gracey-Küretten an extrahierten Zähnen untersucht. Es wurde ermittelt, wie viele Arbeitszüge unter standardisierten Bedingungen erforderlich waren, um eine relevante Abstumpfung der jeweiligen Schneidekanten herbei zu führen. Es wurden von jeder Kürettenmarke je zwei Gracey-Küretten mit der Bezeichnung 5/6 untersucht, da diese durch die spezifische Winkelung ihres Arbeitsteils eine erleichterte Durchführung des standardisierten Versuchs erlaubten. Die eingesetzten Instrumente sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Hersteller		Material	Preis	Anzahl
Hersteller A: American Eagle*	Talon Tough™	Edelstahl	57,00 €	2
	Gracey 5-6 Deep Pocket			
Hersteller B: Deppeler**	XP-Technology™ Gracey 5-6 Deep Pocket XP	TiN- beschichtet	85,56 €	2
	CLEANext 5/6 Deep	Edelstahl	59,50 €	2
Hersteller C: Hu-Friedy***	#5/6 After five Rigid (Griff 7)	Edelstahl	52,48 €	2
	#5/6 After five Rigid, EverEdge® (Griff 9)	Kryogen vergütet	57,12 €	2
Hersteller D: Aesculap***	Rigid 5/6 Ergo-Griff	Edelstahl	31,65 €	2
Hersteller E: Carl Martin***	Ergo-Touch® 5-6	Edelstahl	43,55 €	2
Hersteller F: LM***	DuraGradeMAX 5/6	Kryogen vergütet	43,44 €	2

Tabelle 6: Übersicht der eingesetzten Küretten im standardisierten Versuch. Alle Preise inkl. MwSt.: *loser.de (30.12.2015), **adsystems.de (30.12.2015), *shop.nwd.de (30.12.2015)**

3.1.1 Edelstahlküretten

Die Edelstahlküretten des Herstellers A waren 2015 für 57,00 € Euro erhältlich. Der Hersteller wirbt, dass diese Küretten eine lange Haltbarkeit und einen hohen Schärfegrad aufweisen und nur wenig geschliffen werden müssen (loser.de 2015).

Vom Hersteller C wurden Küretten mit der Bezeichnung „After five Rigid“ verwendet. Diese kosteten 2015 mit dem Griff #7 Satin Steel Colours 52,48 € Euro (NWD 2015).

Der schweizerische Hersteller B war in der Studie mit den Gracey-Küretten der Serie CLEANext vertreten. Eine Kürette dieser Marke war 2015 für 59,50 Euro erhältlich (American Dental Systems 2015). Wegen Beschaffungsschwierigkeiten konnten 2013 über den zentralen Einkauf des Klinikums der Universität München nur zehn Mesialküretten beschafft werden.

In der standardisierten Testung wurden außerdem Edelstahlküretten der Hersteller D und E einbezogen. Diese kosteten 31,65 Euro bzw. 43,55 Euro (NWD 2015).

Alle Preise wurden mit Mehrwertsteuer angegeben.

3.1.2 Kryogen vergütete Küretten

Die Hersteller C und F bieten Gracey-Küretten mit kryogener Vergütung an. Durch dieses Verfahren sollen die Schneidekanten dieser Küretten länger scharf bleiben als die Schneidekanten herkömmlicher Edelstahlinstrumente. Bei Bedarf werden kryogen vergütete Küretten wie gewohnt geschliffen, jedoch soll dies nicht nach jedem Einsatz notwendig sein (Hu-Friedy 2012 b, LM 2013). Vom Hersteller C kosteten 2015 kryogen vergütete Küretten mit dem Handgriff #9 57,12 Euro (NWD 2015). Die Gracey-Küretten vom finnischen Hersteller F kosteten 2015 in der Ausführung mit dem SiX-Griff 43,44 Euro (NWD 2015).

3.1.3 Titannitrid-beschichtete Küretten

Vom Hersteller A werden als einzigem Anbieter Gracey-Küretten mit einer Titannitrid-Beschichtung angeboten, wodurch die Küretten sich nicht abnutzen sollen und deshalb nie geschliffen werden müssen. Diese beschichteten Küretten kosteten im Jahr 2015 85,56 Euro (loser.de 2015).

3.1.4 Fragestellung der vorliegenden Studie

Es ist abzuwägen, ob sich die Anschaffung der teureren Instrumente lohnt. Die neuartigen Küretten der Hersteller C sind etwa 4,60 Euro teurer als vergleichbare Edelstahlinstrumente des gleichen Herstellers (NWD 2015). Bei den Gracey-Küretten des Herstellers A beträgt die Differenz etwa 30 Euro (loser.de 2015). In der vorliegenden Studie wurden diese Küretten auf die angepriesene Langlebigkeit und ihre dauerhafte Einsetzbarkeit hin überprüft. Vergleicht man die Preise der herkömmlichen Edelstahlküretten miteinander, ist die Edelstahlserie des Herstellers B um etwa 7 Euro teurer als entsprechende Edelstahlküretten des Herstellers C (NWD 2015). In

der Studie soll geklärt werden, ob die teureren Küretten hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit diesem Mehrkostenaufwand gerecht werden.

3.2 Aufbau der klinischen Studie

Um jeden Einsatz einer Testkürette nachvollziehbar dokumentieren zu können, wurden die neuen Küretten vor ihrem ersten Einsatz gekennzeichnet. Alle Instrumente erhielten fortlaufende Nummern, die in der Mitte des Griffs eingraviert wurden. Auch wurde die Schärfe der fabrikneuen Küretten überprüft. Daraufhin wurden die Küretten für die klinische Studie hygienisch aufbereitet, eingefolt und sterilisiert.

3.2.1 Ablauf

Die klinische Studie teilte sich in 26 Behandlungstage auf, an denen die Testinstrumente an Patienten der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des Klinikums der Universität München zur nicht-chirurgischen Parodontitistherapie eingesetzt wurden. Die Küretten wurden dafür an verschiedene Behandler – Kandidaten der Zahnmedizin im Examen, Zahnmedizinische Fachangestellte während der Ausbildung zur Dentalhygienikerin und Kandidatinnen der ZMF-Schule – ausgegeben, welche die Küretten dann zur Reinigung und Wurzelglättung parodontal erkrankter Zähne einsetzten. Erhielt ein Behandler zwei Instrumente, so handelte es sich immer um ein Paar für die Behandlung des mesialen und distalen Seitenzahnbereichs. Es wurden auch einzelne Küretten an manche Behandler vergeben. Die Verteilung erfolgte nach dem Zufallsprinzip und war an keinerlei Befunde der Patienten gebunden. Jede Kürette wurde circa 15 Minuten lang benutzt, wobei die erfolgreiche Entfernung aller Ablagerungen auf den Wurzeloberflächen sichergestellt wurde. Nach jedem Einsatz wurden die Küretten eingesammelt, mit dem alkoholischen Desinfektionsmittel Incidin Liquid® von Blut und Ablagerungsrückständen gereinigt und anschließend in einem Reinigungs- und Desinfektionsgerät der Firma Miele mit dem Programm VarioTD

thermisch aufbereitet. Danach wurde die Schärfe der Schneidekanten beurteilt.

Die optische Kontrolle mit dem bloßen Auge führte zu einem ersten Ergebnis, das im Operationsmikroskop OPMI® PROergo von Zeiss bei 20-facher Vergrößerung überprüft und durch Fotografien mit einer am OP-Mikroskop befestigten Kamera (Nikon D5000) dokumentiert wurde. Im Mikroskop konnten eventuelle Veränderungen und Unregelmäßigkeiten der Schneidekante genauer klassifiziert werden. Abschließend wurde mit einem Plastikteststäbchen der Firma Hu-Friedy der Schärfegrad mechanisch untersucht.

Als „scharf“ beurteilte Küretten und auch solche mit minimalen Schneidekantendefekten wurden erneut im RDG aufbereitet, nach Sichtkontrolle eingefolt, sterilisiert und erneut zur Parodontalbehandlung eingesetzt. Als „stumpf“ oder „leicht stumpf“ eingestufte Schneidekanten wurden nach einer Erstaufbereitung im RDG mit einem Handschleifstein (Arkansas Stone SS4/Hu-Friedy) unter Zuhilfenahme eines Schleiföles (Sharpening Stone Oil/Hu-Friedy) geschärft.

Geplant war für alle Küretten der klinischen Versuchsreihe eine Serie von zehn Behandlungen.

3.2.2 Behandler und Patienten

Die Küretten wurden im Kurssaal der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des Klinikums der Universität München an verschiedene Behandler zur Parodontalbehandlung ausgeteilt. Zum einen handelte es sich dabei um Kandidaten der Zahnmedizin in der Staatsexamensprüfung, zum anderen um zahnmedizinische Fachangestellte während der Schulung zur Dentalhygienikerin sowie Kandidatinnen der ZMF-Schule. Durch das Schärfen und Schleifen von auch nur leicht stumpfen Küretten wurde eine negative Beeinträchtigung der Behandlung sowie des Prüfungsergebnisses oder des Kursfortschrittes vermieden.

Bei allen Patienten, bei denen die Küretten zum Einsatz kamen, lag eine Parodontitis vor. Bei manchen Behandlungen handelte es sich um eine Initialtherapie, bei anderen um eine Weiterbehandlung während der unterstützenden PA-Therapie (UPT). Bei den Behandlungen während des Staatsexamens wurden ausschließlich Patienten initialbehandelt. Hier reinigte ein Student mit den Testküretten jeweils einen Quadranten. Die Patienten wiesen in der Regel tiefe Taschen sowie viele Konkreme auf. In den Dentalhygienikerinnen-Schulungen und der ZMF-Schule wurden neben Initialtherapiepatienten auch Patienten behandelt, die vor Jahren eine Initialtherapie erhalten hatten und weniger häufig hohe Sondierungstiefen und harte Ablagerungen aufwiesen. Eine Behandlerin konnte deshalb bis zu vier Quadranten mit den Testküretten behandeln. Viele der Behandler setzten vor den Küretten auch Schallgeräte (SONICflex/KaVo) zur Reinigung ein. Beim Einsammeln der ausgeteilten Gracey-Küretten wurde für jede Kürette der Behandler befragt, ob diese zwischen 10 und 14 Minuten, zwischen 14 und 16 Minuten oder zwischen 16 und 20 Minuten im Einsatz war. Ferner wurde erfragt, wie stark die Küretten durch die Zahn- und Wurzeloberflächenreinigung beansprucht wurden, insbesondere ob mit diesen Konkreme entfernt wurden.

3.3 OP-Mikroskop

Nach maschineller Reinigung und Desinfektion der Küretten wurden die Schneidekanten untersucht. Neben visueller Überprüfung wurden alle Schneidekanten der Küretten unter dem Operationsmikroskop OPMI[®] PROergo der Firma Zeiss mit motorischem 1:6 Zoom-System auf ihre Schärfe hin untersucht und fotografiert. Es wurde eine 20-fache Vergrößerung eingestellt. Dazu wurden die Instrumente in eine handelsübliche Löthilfe der Firma Alpha-Tools eingespannt, damit die Kürette nicht mit der Hand gehalten werden musste, was zu Unschärfe führen kann (Abbildung 5).

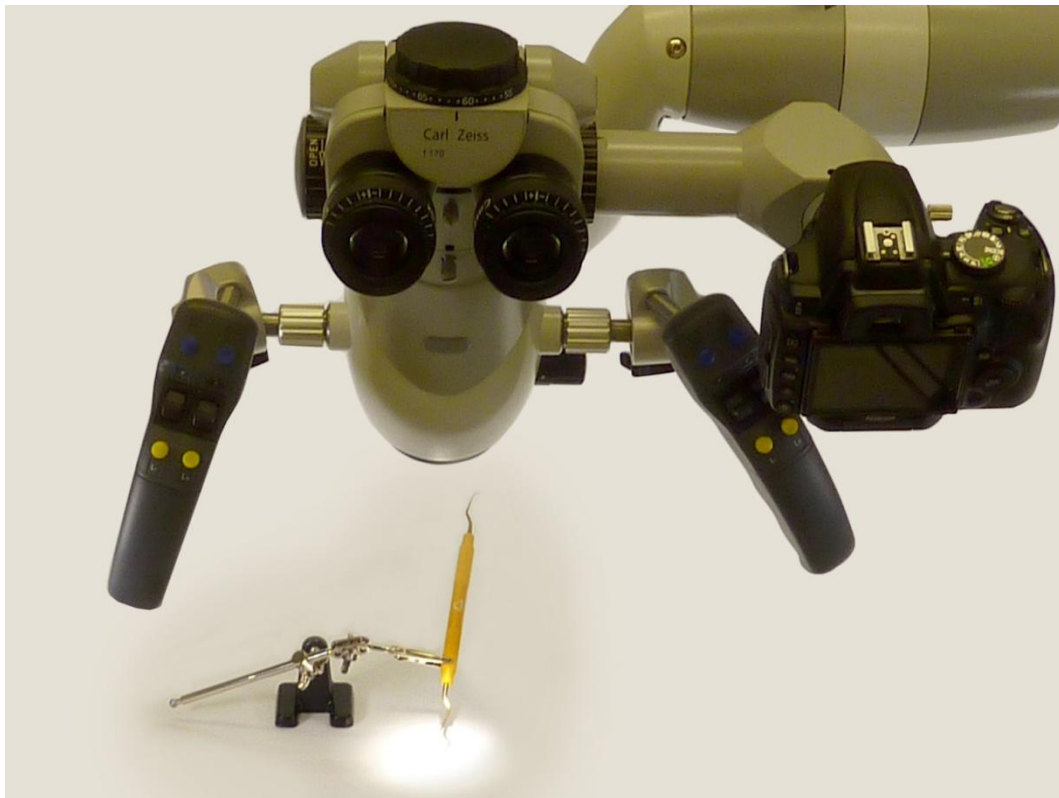


Abbildung 5: Beurteilung der Schneidekanten unter dem OP-Mikroskop OPMI[®] PROergo der Firma Zeiss

3.4 Definition der Schärfegrade

Die Schärfe der Schneidekanten wurde visuell sowie mechanisch-taktil mittels Plastikteststäbchen (Hu-Friedy) geprüft. Tabelle 7 fasst die Kriterien für die Einteilung in die verschiedenen Schärfegrade zusammen.

Schärfegrad	Visuelle Kriterien	Mechanisch-taktile Kriterien
Scharf	Kontinuierliche Schneidekante ohne Lichtreflexion	Schneidekante greift gut in das Plastikteststäbchen, Oberflächenabtrag möglich
Minimale Defekte (Scharf*)	Kontinuierliche Schneidekante mit einzelnen, minimalen Lichtreflexionen	Schneidekante greift gut in das Plastikteststäbchen, Oberflächenabtrag möglich
Leicht stumpf	Leicht unregelmäßige Schneidekante mit unregelmäßigen Lichtreflexionen	Schneidekante greift nicht gut in das Teststäbchen, Oberflächenabtrag nur mit erhöhtem Druck möglich
Stumpf	Breite Lichtreflexionen anstelle der Schneidekante	Schneidekante gleitet über das Teststäbchen

Tabelle 7: Einteilungskriterien zur Bestimmung des Schärfegrads

Eine Kürette ist nur dann scharf, wenn die Fazial- und die Lateralfäche exakt zusammentreffen (Paquette und Levin 1977). Wenn eine kontinuierliche Kante zwischen Fazial- und Lateralfäche ohne breite Lichtreflexionen erkennbar war, wurde die Kürette visuell als „scharf“ eingestuft (Abbildung 6). Manche Küretten wiesen einzelne, punktförmige Defekte der Schneidekante auf, was aber im anschließenden mechanischen Schärfetest am Plastikteststäbchen zu keiner verringerten Griffigkeit führte (Abbildung 7). Küretten mit solchen minimalen Defekten wurden als „scharf*“ bezeichnet und ohne Schärfe und Schleifen wieder verwendet.



Abbildung 6: Eine „scharfe“ TiN-beschichtete Schneidekante. Es sind keine Lichtreflexionen zu sehen.



Abbildung 7: Eine „scharfe“ Schneidekante mit minimalen Defekten. Es sind einzelne Lichtreflexionen sichtbar.

Bei anderen Küretten wurde unter dem OP-Mikroskop die Schneidekante als leicht unregelmäßige Linie sichtbar, die durch unterschiedliche Lichtreflexe teilweise breiter oder durchbrochen erschien. Wenn sich dies nicht auf die ganze Schneidekante bezog oder nur wenig ausgeprägt war,

wurde die Kürette als „leicht stumpf“ angesehen (Abbildung 8). Hier wurde zusätzlich dokumentiert, ob die Abstumpfung nur im vorderen (**) oder hinteren (***) Drittel der Schneidekante stattfand.



Abbildung 8: Eine Schneidekante, die als „leicht stumpf“ einzustufen war. Die Beschichtung dieser TiN-beschichteten Kürette ist an der Schneidekante teilweise nicht mehr vorhanden.

Als „stumpf“ wurden unter dem Operationsmikroskop die Instrumente eingestuft, welche eine ausgeprägte, breit reflektierende Fläche anstelle der Schneidekante aufwiesen (Abbildung 9).



Abbildung 9: Eine „stumpfe“ Schneidekante mit breiten Lichtreflexionen.

3.5 Dokumentation

Die schriftliche und bildliche Dokumentation des festgestellten Schärfegrades wurde direkt nach der visuellen Überprüfung vorgenommen. Erst anschließend folgte die mechanische Nachprüfung durch Verwendung eines Plastikteststäbchens (Hu-Friedy), um die bildliche Dokumentation nicht zu verfälschen.

3.5.1 Dokumentationstabelle

In einer tabellarischen Übersicht wurde der Zustand der beiden Arbeitsenden einer Kürette der klinischen Studie im fabrikneuen Zustand und nach jedem Einsatz dokumentiert. Um auch die Einflussparameter der klinischen Versuchsreihe so gut wie möglich festzuhalten, erfolgte neben der Einteilung in die Schärfegrade gleichzeitig auch die Dokumentation der erfragten Arbeitszeit mit dem Instrument sowie der Stärke der Beanspruchung. Die zusammenfassende Übersicht (Anhang 8.1) zeigt, wie oft die Schneidekanten in Abhängigkeit von der Intensität des Einsatzes als „scharf“ (keine Abstumpfung), oder aber als „leicht stumpf“

(leichte Abstumpfung) oder „stumpf“ (starke Abstumpfung) eingestuft wurden.

3.5.2 Fotografien

Die beiden Arbeitsenden jeder Kürette wurden in der klinischen Versuchsreihe nach jedem Einsatz durch Fotografien dokumentiert. Die Küretten wurden in eine handelsübliche Löthilfe eingespannt, um minimalen Bewegungen des Instruments und einer dadurch entstehenden Unschärfe der Fotografie vorzubeugen. Dann wurde die Schneidekante unter dem OP-Mikroskop so ausgerichtet, dass man eventuelle Reflexionen an der Schneidekante gut sehen konnte. Die Lichtquelle des Mikroskops war dabei auf 40 % Leistung eingestellt. Leichte Variationen zwischen einer 15-fachen und 20-fachen Vergrößerung für die Fotografien sind damit zu begründen, dass beispielsweise die Schneidekanten der Küretten des Herstellers C länger waren, als die der anderen Hersteller und bei maximaler Vergrößerung nicht auf das Foto gepasst hätten. Zunächst wurde die Schneidekante jedoch immer bei 20-facher Vergrößerung bewertet. Die Fotografien selbst wurden mit einer Kamera (Nikon D5000) angefertigt, welche über einen Adapter am Mikroskop befestigt wurde. Die Belichtungszeit wurde auf 1/180 Sekunde eingestellt.

Durch die Verknüpfung der schriftlichen und der bildlichen Dokumentation konnten aus den Fotografien Serien zu jeder Kürette erstellt werden, die den zeitlichen Verlauf des Stumpfwerdens eines Instruments während der klinischen Studie zeigen. Die Bilder wurden mithilfe des PC-Programms Adobe Photoshop Elements 9 nachbearbeitet. Die Nachbearbeitung beschränkte sich auf eine Anpassung der Beleuchtung, wobei die Tiefen um bis zu 30 % aufgehellt und der Mittelkontrast um bis zu 30 % gesenkt wurde. Anschließend wurden die Bilder für den einfacheren Vergleich so zugeschnitten, dass die Schneidekante exakt in der Mitte eines quadratischen Ausschnitts zu sehen war. Diese Nachbearbeitungen der Fotografien veränderten die dokumentierten Schneidekanten nicht, so dass die Einteilung in die Schärfegrade unverändert nachvollziehbar blieb.

3.6 Vergleich der Ergebnisse der klinischen Studie

Die in der Dokumentationstabelle festgehaltenen Schärfegrade aus der klinischen Versuchsreihe wurden für jede Schneidekante ausgezählt, um die verschiedenen Kürettenmarken miteinander zu vergleichen. Für jede Schneidekante ergaben sich jeweils Werte, wie oft sie von zehn Einzelversuchen als „scharf“, „leicht stumpf“ und „stumpf“ befunden wurde. Die Bezeichnung „scharf“ schließt dabei auch die Kürettenschneidekanten mit minimalen Defekten der Schneidekante (scharf*) ein, welche mechanisch am Plastikteststäbchen als einwandfrei griffig gewertet wurden. „Leicht stumpfe“ und „stumpfe“ Schneidekanten wurden, mit Ausnahme der TiN-beschichteten Küretten, vor dem erneuten Einsatz am Patienten geschliffen und sind daher unter „Schleifbedarf“ zusammengefasst. Mittelwerte und Standardabweichungen wurden mit Hilfe von Microsoft Excel berechnet. Da jede Kürette zehnmal zur Parodontitistherapie eingesetzt werden sollte, sind die Mittelwerte als „Anteile von 10 Einzelversuchen“ anzusehen.

Für die statistische Auswertung wurde zunächst die Vergleichbarkeit hinsichtlich der Bedingungen untersucht, unter denen die Küretten in der klinischen Versuchsreihe eingesetzt wurden. Die Patienten, bei denen die Testküretten zur Parodontitistherapie eingesetzt wurden, wiesen insgesamt sehr unterschiedliche Ausprägungen der parodontalen Erkrankung auf. Theoretisch stellt jede unterschiedliche Anzahl und Tiefe der parodontalen Taschen, die mit einer Kürette gereinigt wurden, eine neue zu untersuchende Stufe dar. Durch das Vorhandensein von Konkrementen und den variierenden Anpressdrücken durch verschiedene Behandler (Zappa et al. 1991 a, Zappa et al. 1993, Dong et al. 2007) ergibt dies eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten.

Es wurde ermittelt, wie intensiv die Küretten durchschnittlich eingesetzt wurden. Dieser Einflussparameter war in der klinischen Studie durch die individuelle parodontale Situation beim Patienten vorgegeben und wurde jeweils nach erfolgter Parodontitistherapie für jedes Instrument von den

Behandlern erfragt und dokumentiert. Der Einfachheit halber wurden hier bei der Befragung der Behandler nur drei Schweregrade unterschieden. Eine „leichte“ Beanspruchung bestand, wenn nur wenige parodontale Taschen mit ausschließlich weichen Belägen gereinigt wurden. Eine „mittlere“ Beanspruchung der Küretten lag bei einer fortgeschrittenen Parodontitis mit vielen, auch tieferen Taschen, weichen Belägen und supragingivalem Zahnstein vor, während eine „starke“ Beanspruchung einer Kürettenschneidekante durch das Vorhandensein subgingivaler Konkreme begründet war. Die entsprechenden Werte, wie oft jede Schneidekante innerhalb der zehn Einzelversuche nur sehr leicht, in mittelmäßigem Umfang oder sehr stark beansprucht wurde, wurden in eine Excel-Tabelle eingegeben. Eine Kürette wurde dabei als Einheit betrachtet, weshalb sich aus dem Versuchsablauf hier gemeinsame Werte für beide Arbeitsenden einer Kürette ergeben.

Auch ein Vergleich der Einsatzdauer der Küretten wurde vorgenommen. Durch das Zusammenspiel von Beanspruchung und Dauer wurde versucht, Einflussparameter zu erfassen und so eine Aussage über den Zusammenhang mit der unterschiedlichen Abnutzung der Kürettenschneidekanten zu treffen.

Die statistische Modellierung der Abstumpfung der Schneidekanten in Abhängigkeit des Kürettentyps und der Intensität erfolgte in Form einer ordinalen logistischen Regressionsanalyse mit Hilfe des Statistical Analysis System SAS, Version 9.3 für Linux (SAS Institute, Cary, NC, USA).

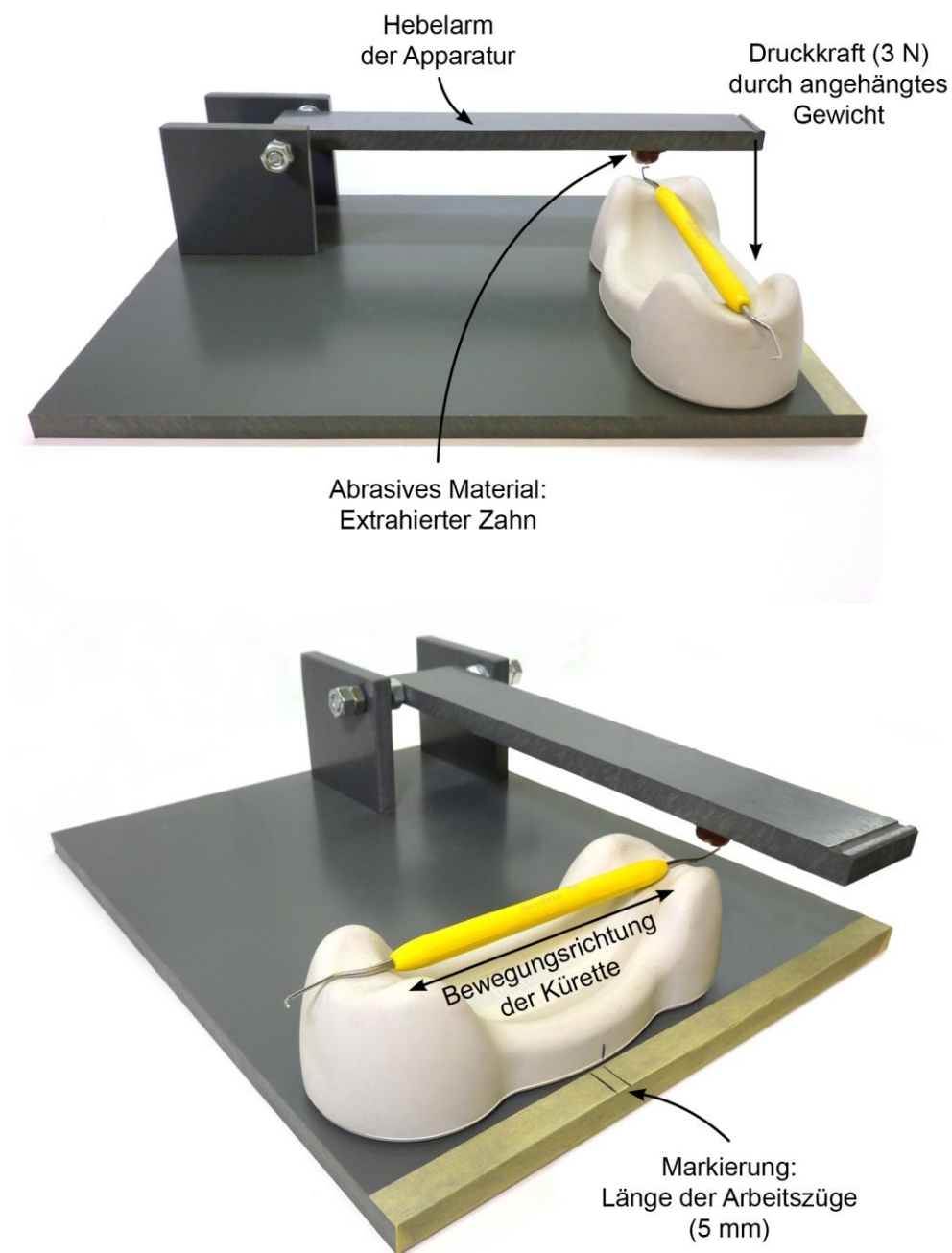
Dabei wurde nicht zwischen „scharfen“, „leicht stumpfen“ und „stumpfen“ Schneidekanten unterschieden, da das Verschleißverhalten der TiN-beschichteten Küretten gleichermaßen erfasst werden sollte. Deshalb wurde es als „keine Abnutzung“ gewertet, wenn eine TiN-beschichtete Schneidekante bereits im vorangehenden Versuch als „leicht stumpf“ bewertet wurde, um zu erfahren, in wie weit sich die Intensität des Küretteneinsatzes auf den Grad der Abnutzung auswirkte. Zielgröße der

ordinalen logistischen Regressionsanalyse war der Wechsel von 0 (keine Veränderung), 1 (leichte Abstumpfung) und 2 (starke Abstumpfung). Bei den schleifbaren Küretten entsprachen diese Ausprägungen den zuvor beschriebenen Schärfegraden nach Beendigung eines Einzelversuchs.

Neben dem Kürettentyp (*Type*) wurde in der ordinalen logistischen Regressionsanalyse die Intensität als Einflussfaktor metrisch mit einem linearen Term von 1 bis 9 (*Intensity*, 1 entspricht „leichte Beanspruchung und Einsatzzeit 10 bis 14 Minuten“, 9 entspricht „starke Beanspruchung und Einsatzzeit 16 bis 20 Minuten“ und einem quadratischen Term (*Intensity2*) untersucht. Um typspezifische Unterschiede in den Auswirkungen der unterschiedlichen Intensitäten zu modellieren, wurden außerdem Wechselwirkungsterme zwischen *Type* und *Intensity* bzw. *Intensity2* berechnet.

3.7 Aufbau des standardisierten Versuchs

Um weitere Informationen zum Verschleißverhalten der Küretten zu erhalten, wurde zusätzlich ein standardisierter Versuch durchgeführt. Mit einer eigens konstruierten Apparatur (Abbildungen 10 und 11) wurde der Einsatz der Küretten auf eine Weise simuliert, durch welche die applizierte Kraft, die Anzahl der Arbeitszüge mit einer Schneidekante und die Länge eines Arbeitszuges genau definiert werden konnte.



Abbildungen 10 und 11: Versuchsaufbau der standardisierten Apparatur

Präparation und Befestigung der extrahierten Zähne

Als abrasives Material wurden im standardisierten Versuch menschliche extrahierte Zähne verwendet. Die Zähne wurden jeweils direkt nach der Extraktion in einer Ringerlösung mit 2 % Natriumacid desinfiziert und konserviert und direkt vor der Verwendung für eine Woche in Wasser

gelagert. Für den Versuchsaufbau wurden die Zähne jeweils längs mit einem thermoplastischen Material (Impression Compound/Kerr) an Retentionsrillen an der Unterseite des beweglichen Hebelarms der Apparatur befestigt. Es wurden nur kariesfreie Molaren mit geraden Wurzeln, welche keine Konkrementen oder Zahnhalsfüllungen aufwiesen, verwendet. Die Zähne wurden während der Versuche ausgewechselt, sobald sich im Arbeitsbereich ein sichtbarer Abtrag ergab.

Verwendete Druckkraft

Um eine stets gleichbleibende Druckbelastung während des Versuchs zu gewährleisten, wurde die Schneidekante entlang der Parallelen zur Drehachse der Apparatur bewegt. Zu den Kräften, die während einer Parodontalbehandlung an einer Kürette entstehen, finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben. Zappa et al. veröffentlichten 1991 eine Studie, in der beim Wurzelscaling Kräfte zwischen 1,01 und 15,73 Newton gemessen wurden. Die Durchschnittswerte bei Zahnärzten betrugen bei der Reinigung eines Schneidezahns 5,70 Newton und bei Dentalhygienikerinnen 5,38 Newton. Bei der Wurzelglättung wandten die Zahnärzte in der Studie durchschnittlich eine Kraft von 4,62 Newton an und die Dentalhygienikerinnen eine Kraft von 4,58 Newton (Zappa et al. 1991 a). In einer späteren Studie gaben Zappa et al. (1993) an, bei der Wurzelreinigung eines Molaren bräuchten Zahnärzte an den Mesialflächen durchschnittlich 7,56 Newton und an den Distalflächen 3,81 Newton auf, während Dentalhygienikerinnen mesial eine durchschnittliche Kraft von 6,95 Newton anwandten und distal eine durchschnittliche Kraft von 3,66 Newton (Zappa et al. 1993). Die Kräfte wurden hierbei durch eine Messapparatur im oberen Schaft erfasst. In einer weiteren Studie aus dem Jahr 2007, welche sich mit diesem Thema befasste, differenzierten Dong et al. die am Instrumentengriff durch den Druck des Daumens applizierten Kräfte von den an der Instrumentenspitze einer Kürette entstehenden Kräften. Die Versuche ergaben, dass Zahnärzte im Durchschnitt eine Kraft von $1,9 \pm 0,7$ Newton

am Kürettenende erreichen, während Studenten der Zahnmedizin eine Kraft von $1,1 \pm 0,7$ Newton aufbrachten (Dong et al. 2007). Sisera et al. (2009) führten im in-vitro-Versuch mit herkömmlichen und neuartigen Küretten die ersten zehn Arbeitszüge mit einem Druck von ca. 2,5 Newton (250 ± 50 g) durch und die folgenden mit ca. 4,9 Newton (500 ± 50 g). Die in der Produktwerbung des Herstellers American Eagle angeführten in-vitro-Untersuchungen wurden mit einem Druck von ca. 1,0 bis 1,5 Newton (100 bis 150 g) durchgeführt (Gorokhovskiy et al. 2006 b).

Diese unterschiedlichen Druckkräfte der obigen Studien gaben einen gewissen Bereich für die festzulegenden Parameter des standardisierten Versuchs vor. In einem Vorversuch wurde mithilfe einer Gracey-Kürette 5/6 des Herstellers Hu-Friedy ermittelt, mit welcher Belastung die Apparatur am besten funktionierte. Diese Kürette gehörte nicht zu den Testküretten. Bei einem entsprechenden Gewicht, welches eine Kraft von 5 Newton auf die Schneidekante applizierte, war keine Bewegung der Schneidekante durchführbar. Auch bei 4 Newton Belastung blieb die Apparatur kaum beweglich und es ergab sich an der Erprobungskürette eine sehr starke Abnutzung der Schneidekante nach dem ersten Zug, was als unrealistische Arbeitsbedingung eingeschätzt wurde. Als optimal erwies sich eine Last von 3 Newton auf der Schneidekante.

Um eine Last von 3 Newton an der Schneidekante zu erreichen, musste ein entsprechendes Gewicht am Ende des Arms der Apparatur befestigt werden. Da dieses weiter von der Drehachse entfernt angebracht wurde als die Auflagefläche der Schneidekante, berechnete man zunächst die notwendige Kraft an der Spitze des Arms mithilfe des Hebelgesetzes (Kraft F , Länge des Hebelarms L):

$$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$$

$$\rightarrow F_1 = (F_2 \cdot L_2) : L_1 = (3 \text{ N} \cdot 0,18 \text{ m}) : 0,235 \text{ m} = 2,298 \text{ N}$$

Es folgte die Umrechnung der Kraft in Kilogramm mittels Division durch die Erdbeschleunigung:

$$2,298 \text{ N} : 9,81 \text{ m/s}^2 = 0,234 \text{ kg} = 234 \text{ g}$$

Für eine Belastung der Schneidekante mit einer Kraft von 3 Newton war eine Last von 234 g am Ende des Arms der Apparatur notwendig. Sisera et al. (2009) arbeiteten in ihren Versuchen mit ähnlichen Druckkräften, da sie eine Last von 250 g auf die Schneidekanten applizierten. Für die hier durchgeführten Versuche wurde das Eigengewicht des Arms von 87 g (gewogen auf einer digitalen Waage der Firma Smart Weigh) eingerechnet, sodass der Hebelarm zusätzlich mit einem Gewicht von 147 g belastet werden musste. Hierfür wurde eine Flasche mit der entsprechenden Menge Wasser gefüllt, welche dann insgesamt ein Gewicht von 147 g aufwies und an die Apparatur gehängt wurde.

Durchführung der Arbeitszüge

Die Schneidekanten der Küretten wurden zunächst im fabrikneuen Zustand unter dem Operationsmikroskop OPMI® PROergo (Zeiss) fotografiert (Nikon D5000). Außerdem wurden die Küretten wiederum fortlaufend nummeriert.

Zur Simulation der Wurzeloberflächenreinigung wurden die Schneidekanten in eine bewegliche Halterung der Apparatur (Handstückablage der Firma KaVo) eingespannt. Die Schneidekante wurde (nach oben zeigend) parallel zur Tischfläche ausgerichtet. Dann wurde der Arm der Apparatur, an dem von unten ein extrahierter Zahn befestigt war, so auf die Schneidekante gelegt, dass diese die Wurzeloberfläche breitflächig berührte. Der Arm wurde anschließend mit dem Gewicht belastet. Nun konnten durch die Bewegung der Halterung Arbeitszüge der Schneidekante auf der Wurzeloberfläche durchgeführt werden. Es wurde stets darauf geachtet, dass die Schneidekante während der Arbeitszüge weiterhin großflächigen Kontakt zur Wurzeloberfläche hatte. Die Schneidekante wurde so an der Wurzeloberfläche

entlanggeführt, dass mit jedem Arbeitszug eine Strecke von 5 mm (apikal nach koronal) zurückgelegt wurde. Bei der rückwärtigen Bewegung (koronal nach apikal) wurde die Belastung durch den Arm der Apparatur aufgehoben, sodass nur Arbeitszüge in eine Richtung erfolgten und gezählt wurden.

Die Schärfe wurde immer nach jeweils fünf Arbeitszügen überprüft. Die visuelle und mechanisch-taktile Kontrolle erfolgte hierbei ohne vorherige Aufbereitung der Instrumente. Bei Bedarf wurde die Schneidekante zur Überprüfung der Schärfe mit Incidin Liquid® gereinigt.

Es wurden mithilfe der standardisierten Apparatur so viele Arbeitszüge ausgeführt, bis die Schneidekanten eine Abnutzung aufwiesen, welche den weiteren Einsatz zur Wurzeloberflächenreinigung unmöglich machte. Dieser Wert wurde für jede Schneidekante festgehalten. Weiterhin wurde dokumentiert, nach welcher Anzahl von Arbeitszügen die ersten sichtbaren Abnutzungserscheinungen auftraten und nach wie vielen Arbeitszügen erste leichte mechanische Beeinträchtigungen zu beobachten waren.

Die Schneidekanten der Küretten wurden nach den beendeten Einzelversuchen wiederum mit Incidin Liquid® gereinigt und mit Hilfe der an das Operationsmikroskop OPMI® PROergo (Zeiss) montierten Kamera (Nikon D5000) fotografiert, um die Abnutzung der Schneidekanten nach der notierten Anzahl von Arbeitszügen fotografisch zu dokumentieren. Belichtungszeit sowie Einstellungen am Mikroskop waren identisch mit denen der klinischen Versuchsreihe.

Anzahl der benötigten Küretten

In einem Vorversuch wurden an einer einzelnen Kürette die erforderlichen Parameter für den Versuchsaufbau bestimmt. Zunächst wurde an jeweils zwei gleichen doppelendigen Küretten untersucht, wie viele Arbeitsbewegungen erforderlich waren, bis die Schneidekanten stumpf waren. Es ergab sich mit Ausnahme der Titannitrid-beschichteten Küretten

eine sehr geringe Standardabweichung, weshalb keine weiteren Küretten nachbestellt wurden. Bei den Titannitrid-beschichteten Küretten konnte bereits im klinischen Versuch eine hohe Streuung beobachtet werden, bis die Küretten stumpf wurden.

Statistische Methoden

Die Ergebnisse des standardisierten Versuchs wurden in einer weiteren Tabelle (Anhang 8.2) mithilfe des Programms Microsoft® Excel 2010 dokumentiert.

Für die Auswertung des standardisierten Versuchs wurden in der Excel-Tabelle die Mittelwerte mit Standardabweichung berechnet.

4 Ergebnisse

4.1 Auswertung der klinischen Studie

4.1.1 Überblick

In der klinischen Studie waren 92 Küretten im Einsatz, von denen jede Schneidekante zehn Mal zur Parodontistherapie in vivo eingesetzt werden sollte. Die Anzahl der geplanten und durchgeführten Einzelversuche ist in Tabelle 8 zusammengefasst.

	Anzahl der Schneidekanten	Anzahl der geplanten Einzelversuche	Anzahl der durchgeführten Einzelversuche
Hersteller A, Edelstahl	40	400	397
Hersteller A, TiN-beschichtet	38	380	322
Hersteller B, Edelstahl	20	200	197
Hersteller C, Edelstahl	46	460	460
Hersteller C, kryogen vergütet	40	400	400

Tabelle 8: Gesamtanzahl der eingesetzten Schneidekanten je Kürettenmarke, der geplanten Durchläufe (zehn pro Schneidekante) und der tatsächlich durchgeführten Durchläufe. Mehrere TiN-beschichtete Küretten und einzelne Edelstahlküretten der Hersteller A und C konnten keine zehn Mal zur Parodontistherapie eingesetzt werden, da diese vorher verschlissen waren.

Während der laufenden Studie stellte sich heraus, dass einige der Schneidekanten bereits vor Durchführung aller geplanten Durchläufe verschlissen waren. Zum einen betraf dies die Edelstahlküretten des Herstellers B, da die graziilen Arbeitsenden durch den wiederholten Einsatz am Patienten mit Stumpfwerden und dem erforderlichen Schärfen und Schleifen so stark an Substanz verloren, dass sie nicht weiter eingesetzt werden konnten. Die schon fabrikneu schmalere und kürzere 11/12-Schneidekanten des Herstellers B schienen dabei nach Beendigung der klinischen Versuchsreihe deutlich mehr an Substanz verloren zu

haben als die Schneidekanten anderer Küretten. Da nur 10 Küretten dieses Herstellers zu Verfügung standen und im klinischen Einsatz auch festgestellt wurde, dass diese Küretten weniger intensiv eingesetzt wurden, werden nur die Ergebnisse beschrieben, aber kein statistischer Vergleich vorgenommen.

Ein gewisser Substanzverlust war auch bei den Edelstahlschneidekanten der anderen beiden Hersteller zu beobachten, jedoch nicht im gleichen Ausmaß. Nur eine Schneidekante einer der Edelstahlküretten des Herstellers A zeigte einen starken Verschleiß nach dem siebten Durchlauf, so dass diese Kürette heraus genommen werden musste, weshalb sich die Gesamtanzahl der Einzelversuche auch hier verringerte.

Eine Besonderheit bei den Titannitrid-beschichteten Schneidekanten bestand während des Versuchs darin, dass sie nicht wie alle anderen einbezogenen Kürettenmarken geschliffen werden konnten, weil die dünne Oberflächenbeschichtung sonst zerstört worden wäre. 20 Schneidekanten (11 Küretten) waren vor Erreichen der zehn geplanten Einsätze zur Parodontitistherapie stumpf und wurden deshalb ebenfalls nicht weiter am Patienten eingesetzt.

4.1.2 Häufigkeitereignis der drei Schärfegrade

Durch die Auszählung der Ereignisse „scharf“, „leicht stumpf“ und „stumpf“ pro Schneidekante in zehn klinischen Einsätzen entstanden jeweils drei Werte, wie oft diese Ereignisse innerhalb der zehn klinischen Einsätze eintraten. Die Summen aller Einzelergebnisse jeder Kürettenmarke vermitteln einen ersten Eindruck, wie die Schneidekanten im in-vivo-Einsatz verschleifen. Die jeweiligen Häufigkeiten der drei Schärfegrade zeigt Diagramm 1. Außerdem ist dargestellt, wie viele geplante Einzelversuche pro Kürettenmarke nicht durchgeführt werden konnten, da die entsprechenden Schneidekanten vor Beendigung verschlissen waren.

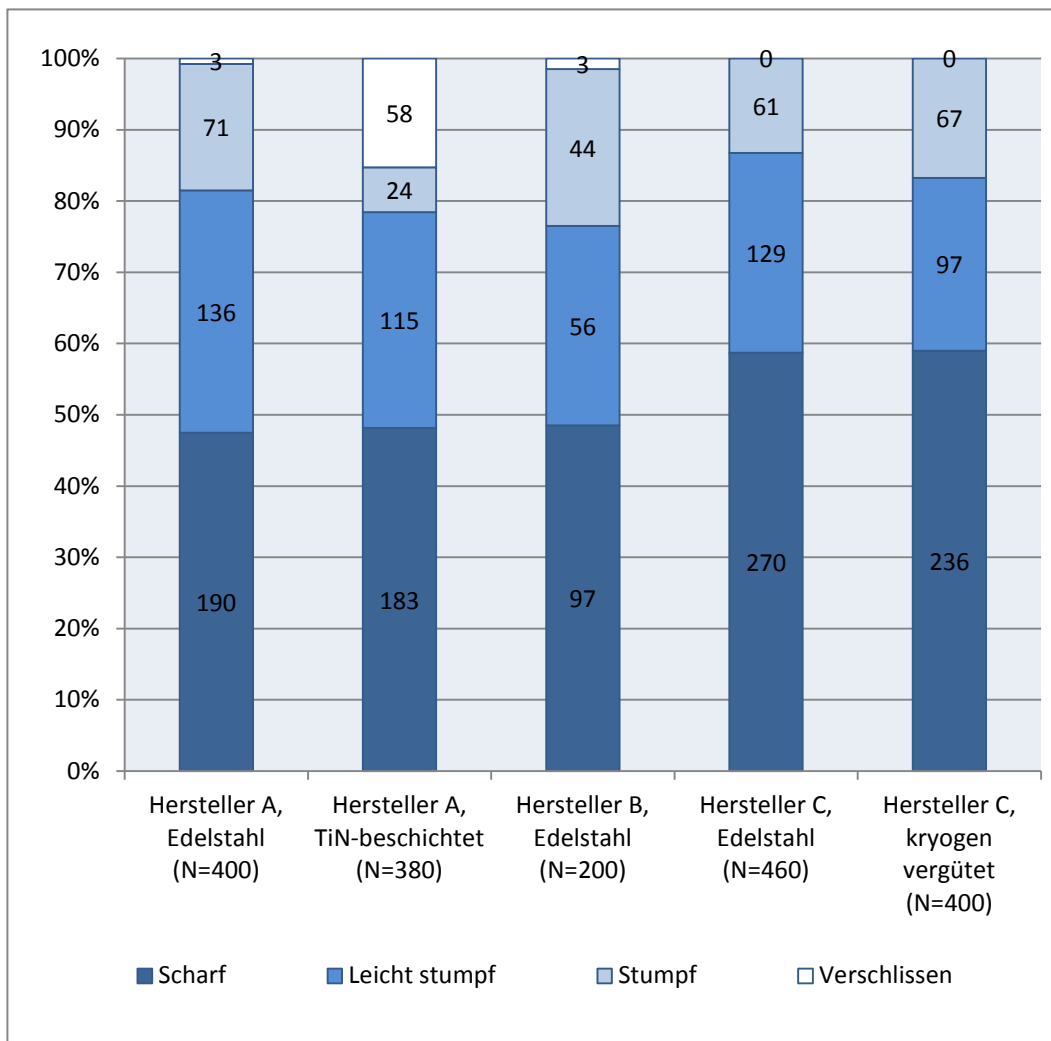


Diagramm 1: Häufigkeitsereignis der drei Schärfegrade in allen Einzelversuchen und Anteil der nicht durchführbaren klinischen Einsätze (Schneidekanten waren bereits verschlissen), prozentual dargestellt. Auf den einzelnen Balken sind die absoluten Werte aufgetragen. N ist die angestrebte Gesamtzahl der Einzelversuche aller Schneidekanten einer Kürettenmarke.

Während das Ereignis „scharf“ bei den Küretten der Hersteller A und B in 47,5 % bis 48,5 % der Einsätze zu beobachten war, traf dies bei den Küretten des Herstellers C in 58,7 % bzw. 59,0 % der Einsätze zu. Der Anteil „leicht stumpfer“ Schneidekanten war bei den kryogen vergüteten Küretten des Herstellers C am niedrigsten (24,3 %) und bei den Edelstahlküretten des Herstellers A am höchsten (34,0 %). Das Häufigkeitsereignis „stumpf“ lag bei den Küretten des Herstellers C und bei den Edelstahlküretten des Herstellers A zwischen 13,3 % und 17,9 %, während Küretten des Herstellers B in 22,0 % der geplanten Durchläufe

als „stumpf“ eingestuft wurden und die TiN-beschichteten Küretten in 6,3 % der geplanten Durchläufe. Diese niedrige Anzahl an „stumpfen“ Schneidekanten ist darin begründet, dass das Ereignis „stumpf“ pro TiN-beschichteter Schneidekante nur einmal auftreten konnte, danach galt die Schneidekante als verschlissen. Der Wert „verschlissen“ ist bei den TiN-beschichteten Küretten deutlich höher (15,3 %) im Vergleich zu den anderen Kürettenmarken (0 bis 1,5 %). Insgesamt wurden mit den TiN-beschichteten Küretten 58 der geplanten klinischen Durchläufe nicht durchgeführt, da die Schneidekanten bereits verschlissen waren. Drei TiN-beschichtete Schneidekanten waren nach dem fünften Einsatz „stumpf“ und damit nicht weiter am Patienten verwendbar (dies ergibt 15 nicht durchführbare Einsätze), vier Schneidekanten waren nach dem sechsten Einsatz verschlissen (16 nicht durchführbare Einsätze), fünf waren nach dem siebten Einsatz (15 nicht durchführbare Einsätze) und je vier nach dem achten und neunten klinischen Durchlauf verschlissen (8 und 4 nicht durchführbare Einsätze).

Aus den ausgezählten Daten zu jeder Schneidekante können Mittelwerte errechnet werden, wie oft die Häufigkeitsereignisse „scharf“, „leicht stumpf“ und „stumpf“ durchschnittlich pro Schneidekante eintraten. Diese sind in Tabelle 9 und 10 aufgelistet. In Diagramm 2 sind zudem die Mittelwerte des Ereignisses „scharf“ dargestellt.

	Anzahl der Schneidekanten	Anzahl der durchgeführten Einsätze	Anzahl der scharf gebliebenen Schneidekanten in zehn Versuchen (Mittelwert \pm Standardabweichung)
Hersteller A, Edelstahl	40	397*	4,8 \pm 1,5
Hersteller A, TiN-beschichtet	38	322**	4,8 \pm 2,4
Hersteller B, Edelstahl	20	197*	4,9 \pm 1,5
Hersteller C, Edelstahl	46	460	5,9 \pm 1,4
Hersteller C, kryogen vergütet	40	400	5,9 \pm 1,5

Tabelle 9: Anzahl scharf gebliebener Schneidekanten, ausgedrückt als „Anteile von zehn Einsätzen“. In den zehn Einsätzen am Patienten blieben die Instrumente des Herstellers C (Edelstahl und kryogen vergütet) öfter scharf als die Instrumente anderer Hersteller. *: 3 Mal konnten Schneidekanten nicht eingesetzt werden, da die Arbeitsteile so stark verschlissen waren. **: 58 Mal konnten Schneidekanten nicht mehr eingesetzt werden, weil die Schneidekanten stumpf waren und auch nicht geschärft werden konnten.

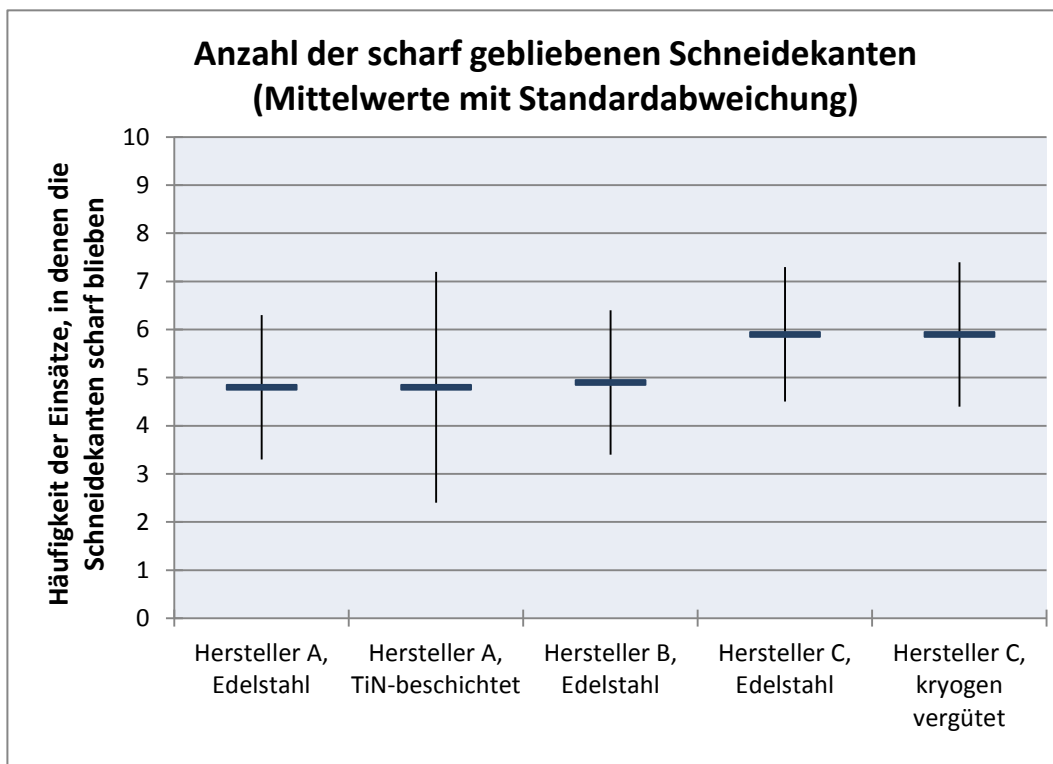


Diagramm 2: Im groben Durchschnitt waren die Schneidekanten nach jedem zweiten klinischen Einsatz stumpf. Während die Edelstahlküretten dann geschärft werden mussten, mussten die TiN-beschichteten Küretten ersetzt werden, da sie nicht geschärft werden können. Der Zeitpunkt, ab welchem klinischen Einsatz sie nicht mehr „scharf“ waren, variierte beträchtlich. So waren zwei Küretten bereits nach dem fünften Einsatz stumpf und mussten ersetzt werden, indes andere Küretten auch nach dem zehnten Einsatz als noch „scharf“ bewertet wurden. Dadurch ergab sich gegenüber den anderen Küretten eine höhere Standardabweichung.

Anzahl scharf gebliebener Schneidekanten	N	Durchschnittliche Anzahl der „leicht stumpfen“ Schneidekanten in zehn Einsätzen	Durchschnittliche Anzahl der „stumpfen“ Schneidekanten in zehn Einsätzen	Durchschnittliche Anzahl der nicht durchführbaren Einsätze, da bereits verschlissen
Hersteller A, Edelstahl	397	$3,4 \pm 1,6$	$1,8 \pm 1,3$	$0,1 \pm 0,5$
Hersteller A, TiN-beschichtet	322	$3,0 \pm 2,3$	$0,6 \pm 0,5$	$1,5 \pm 1,8$
Hersteller B, Edelstahl	197	$2,8 \pm 1,5$	$2,2 \pm 1,3$	$0,2 \pm 0,5$
Hersteller C, Edelstahl	460	$2,8 \pm 1,3$	$1,3 \pm 1,0$	-
Hersteller C, kryogen vergütet	400	$2,5 \pm 1,3$	$1,7 \pm 1,2$	-

Tabelle 10: Durchschnittliche Anzahl der als „leicht stumpf“ und „stumpf“ bewerteten Schneidekanten und der während der zehn Durchläufe zur Parodontitistherapie verschlissenen Schneidekanten, ausgedrückt als „Anteile von zehn Einsätzen“. N ist die Anzahl der durchgeführten Einsätze.

Kryogen vergütet vs. Edelstahl (Hersteller C)

Die Werte des Ereignisses „scharf“ der Edelstahlschneidekanten und der kryogen vergüteten Schneidekanten des Herstellers C sind annähernd deckungsgleich. Die Schneidekanten aus Edelstahl blieben in durchschnittlich $5,9 \pm 1,4$ von zehn Einsätzen scharf, die Schneidekanten der kryogen vergüteten Küretten in durchschnittlich $5,9 \pm 1,5$ von zehn Versuchen (Tabelle 9). Diese Werte beziehen jeweils alle Küretten einer Marke mit ein. Betrachtet man die Küretten mit den Bezeichnungen 13/14 für die Distalflächen und 15/16 für die Mesialflächen der Seitenzähne getrennt voneinander, fällt auf, dass die Arbeitsenden 15/16 etwas öfter in den zehn Einsätzen als „scharf“ eingestuft wurden. Die Schneidekanten der kryogen gehärteten Küretten weisen dabei eine größere Differenz zwischen den Arbeitsenden 13/14 und 15/16 auf als die Schneidekanten aus Edelstahl (Tabelle 11).

Anzahl scharf gebliebener Schneidekanten	N	Gesamt	N ₁ (13/14)	Schneidekanten 13/14	N ₂ (15/16)	Schneidekanten 15/16
Hersteller C, Edelstahl	460	5,9 ± 1,4	220	5,6 ± 1,4	240	6,1 ± 1,3
Hersteller C, kryogen vergütet	400	5,9 ± 1,5	200	5,2 ± 1,4	200	6,6 ± 1,2

Tabelle 11: Anzahl scharf gebliebener Schneidekanten der beiden Marken des Herstellers C, ausgedrückt als „Anteile von zehn klinischen Einsätzen“. Auffällig ist, dass die Schneidekanten der Mesialküretten (15/16) öfter scharf blieben als die Schneidekanten der Distalküretten (13/14).

Um den Schleifbedarf der Küretten weiter zu differenzieren, wurden in der klinischen Studie „leicht stumpfe“ von „stumpfen“ Schneidekanten unterschieden. Die Edelstahlküretten und kryogen vergüteten Schneidekanten des Herstellers C wurden in $2,8 \pm 1,3$ bzw. $2,5 \pm 1,3$ von zehn klinischen Einsätzen als „leicht stumpf“ eingestuft. Nach den TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A wurden die Edelstahlküretten des Herstellers C am seltensten in zehn Einzelversuchen als „stumpf“ befunden ($1,3 \pm 1,0$). Die kryogen vergüteten Küretten zeigten mit durchschnittlich $1,7 \pm 1,2$ „stumpfen“ Schneidekanten eine etwas höhere Anzahl.

Abbildungen 12 bis 15 zeigen exemplarisch den Verschleiß einzelner Küretten des Herstellers C.



Abbildung 12: Edelstahlkürette Nummer 5 (Arbeitsende a, 13/14-Kürette) des Herstellers C nach dem dritten klinischen Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten). Die Schneidekante wurde als „scharf“ bezeichnet. Im ersten klinischen Durchlauf (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) wurde diese Schneidekante als „scharf“ eingestuft und im zweiten Durchlauf (starke Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) als „stumpf“. Folglich wurde die Schneidekante bis zum dritten Einsatz einmal geschliffen. Abbildung 13 zeigt die gleiche Schneidekante nach dem zehnten klinischen Einsatz.



Abbildung 13: Edelstahlkurette Nummer 5 (Arbeitsende a, 13/14-Kurette) des Herstellers C nach dem zehnten klinischen Einsatz (zuletzt starke Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten). Die Schneidekante wurde als „leicht stumpf“ befunden. Im vierten klinischen Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) wurde die Schneidekante als „scharf“ eingestuft, im fünften Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) als „leicht stumpf“, im sechsten und siebten Einsatz (jeweils leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) als „scharf“, im achten Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) als „leicht stumpf*“ und im neunten Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) als „scharf“. Insgesamt blieb diese Schneidekante bei sechs Behandlungen scharf und wurde drei Mal bis zum zehnten klinischen Durchlauf geschärft.**



Abbildung 14: Kryogen vergüteten Kürette Nummer 7 (Arbeitsende b, 13/14-Kürette) des Herstellers C nach dem sechsten klinischen Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten). Die Schneidekante wurde als „scharf“ bewertet. Im ersten klinischen Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) sowie im zweiten (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten), im dritten (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) und im vierten Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 16-20 Minuten) wurde die Schneidekante jeweils als „scharf“ eingestuft und im fünften Einsatz (starke Beanspruchung, Einsatzdauer 16-20 Minuten) als „stumpf“. Folglich wurde die Schneidekante bis zum sechsten klinischen Einsatz einmal geschärft. Abbildung 15 zeigt die gleiche Schneidekante nach dem neunten klinischen Einsatz.

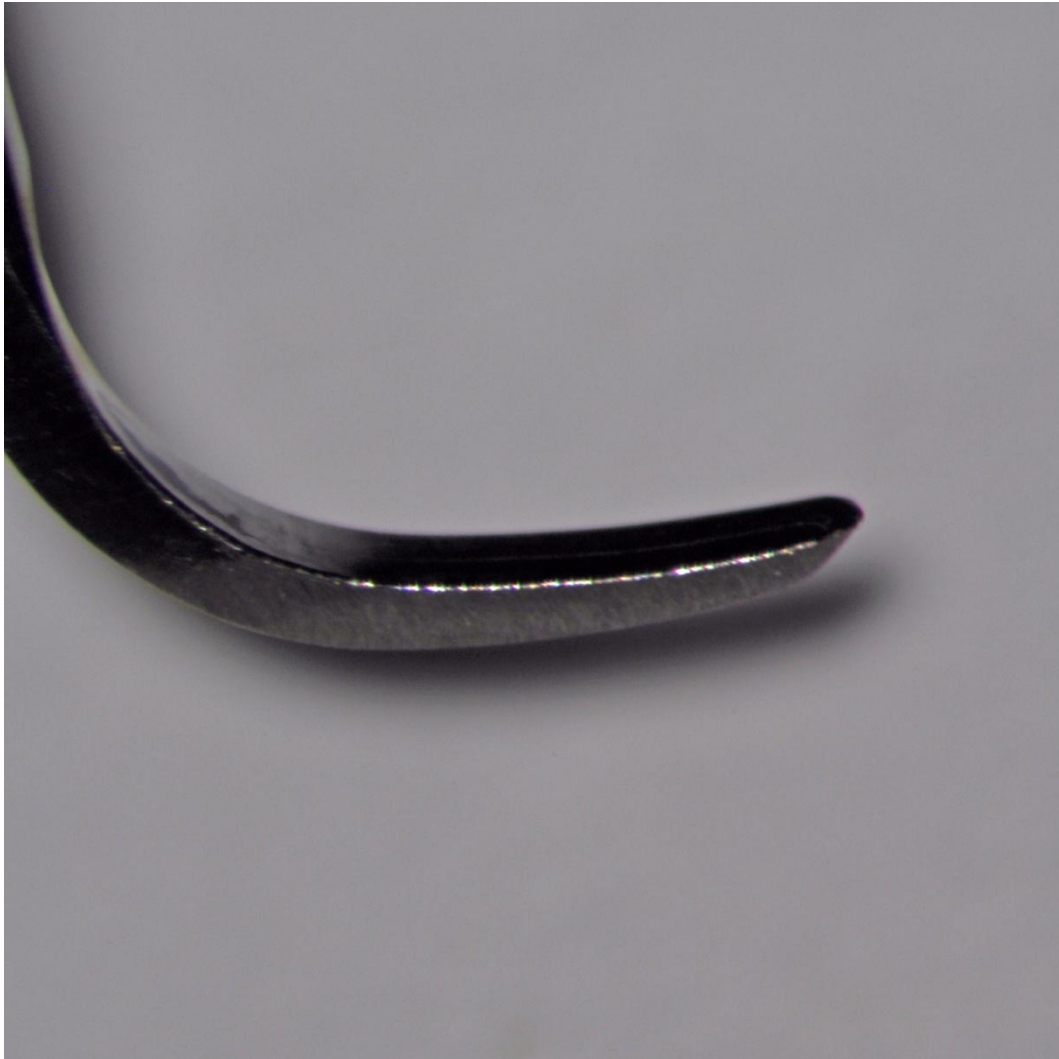


Abbildung 15: Kryogen vergüteten Kürette Nummer 7 (Arbeitsende b, 13/14-Kürette) des Herstellers C nach dem neunten klinischen Einsatz (starke Beanspruchung, Einsatzdauer 16-20 Minuten). Die Schneidekante wurde als „stumpf“ bewertet. Abbildung 14 zeigt diese Schneidekante nach dem sechsten klinischen Einsatz. Im siebten klinischen Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) wurde die Schneidekante als „leicht stumpf“ eingestuft, im achten Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) als „scharf“. Bis zum neunten Einsatz wurde sie zweimal geschärft. Im zehnten klinischen Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) wurde die Schneidekante als „scharf“ eingestuft. In zehn Einzelversuchen blieb diese Schneidekante sechs Mal scharf.

TiN-beschichtet vs. Edelstahl (Hersteller A)

Die meisten Schneidekanten (26 %) der Titannitrid-beschichteten Küretten des Herstellers A blieben bis nach der dritten Behandlung „scharf“. Aber es gab Küretten, die schon nach dem zweiten Einsatz als „leicht stumpf“ oder „stumpf“ galten, wie auch solche, die bis zum zehnten Einsatz als „scharf“ eingestuft wurden. Diese großen Schwankungen schlagen sich in hohen Standardabweichungen vom Mittelwert nieder. Während die Werte der Edelstahlküretten annähernd einer Normalverteilung folgen, erscheinen die Werte der beschichteten Küretten verzerrt.

Im Durchschnitt hielt eine der Titannitrid-beschichteten Schneidekanten $4,8 \pm 2,4$ von zehn Parodontitisbehandlungen stand, ohne dabei leicht stumpf oder stumpf zu werden. Eine Edelstahlschneidekante des gleichen Herstellers blieb bei durchschnittlich $4,8 \pm 1,5$ von zehn Behandlungen scharf (Tabelle 9).

Ein direkter Vergleich des Abnutzungsverlaufs gestaltet sich schwierig aufgrund der Tatsache, dass die Edelstahlküretten geschliffen werden können, die TiN-beschichteten jedoch nicht. Die Ereignisse „scharf“, „leicht stumpf“ und „stumpf“ sind bei den Edelstahlküretten unregelmäßig auf die zehn klinischen Einsätze verteilt. Reiht man die durchschnittliche Anzahl an „scharfen“ und folgend die „leicht stumpfen“ Schneidekanten hintereinander, entsteht ein fiktiver Vergleich mit den TiN-beschichteten Küretten. Dieser ist in Diagramm 3 dargestellt.

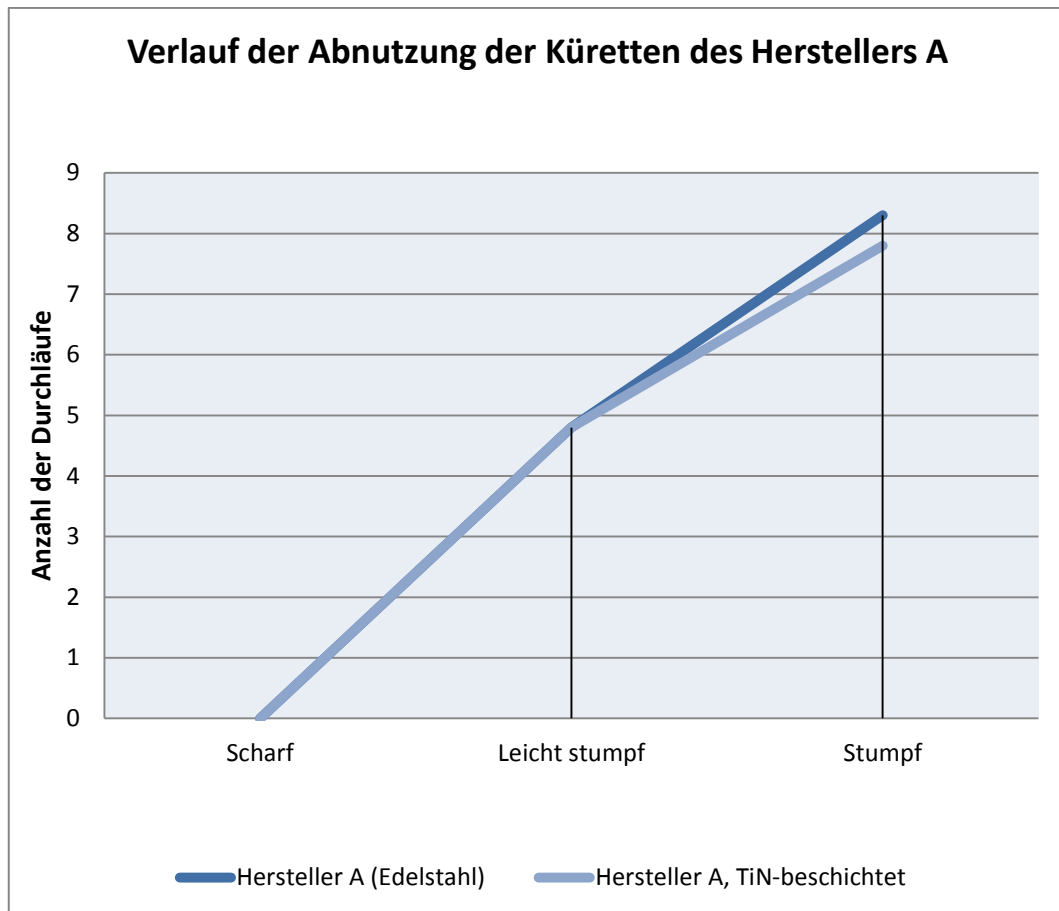


Diagramm 3: Fiktiver Vergleich des Abnutzungsverlaufs der Küretten des Herstellers A. In durchschnittlich 4,8 Durchläufen blieben beide Marken „scharf“ (Edelstahl $\pm 1,5$, TiN-beschichtet $\pm 2,4$). Zu diesem Wert wurde die durchschnittliche Anzahl der „leicht stumpfen“ Schneidekanten addiert (Edelstahl $3,4 \pm 1,6$, TiN-beschichtet $3,0 \pm 2,3$). Die Edelstahlküretten erreichen eine höhere Anzahl an Durchläufen bis sie stumpf waren (und wieder geschärft wurden).

Betrachtet man die Küretten für die unterschiedlichen Einsatzgebiete einzeln, wird ersichtlich, dass die Edelstahlschneidekanten der 15/16-Küretten ähnlich den Ergebnissen beim Hersteller C (Tabelle 11) in $5,1 \pm 1,4$ Fällen und damit etwas häufiger scharf blieben als die 13/14-Küretten mit $4,4 \pm 1,6$ von zehn Einzelversuchen (Tabelle 12). Bei den Titannitrid-beschichteten Küretten ist dies nicht der Fall, wobei hier höhere Standardabweichungen zu finden sind. Die TiN-beschichteten 13/14-Schneidekanten blieben in $5,3 \pm 2,6$ Fällen scharf, die 15/16-Schneidekanten in $4,3 \pm 2,1$ von zehn Einzelversuchen.

Anzahl scharf gebliebener Schneidekanten	N	Gesamt	N ₁ (13/14)	Schneidekanten 13/14	N ₂ (15/16)	Schneidekanten 15/16
Hersteller A, Edelstahl	397	4,8 ± 1,5	200	4,4 ± 1,6	197	5,1 ± 1,4
Hersteller A, TiN-beschichtet	322	4,8 ± 2,4	180	5,3 ± 2,6	142	4,3 ± 2,1

Tabelle 12: Anzahl scharf gebliebener Schneidekanten der beiden Marken des Herstellers A, ausgedrückt als „Anteile von zehn Einsätzen“. Bei den Edelstahlküretten blieben wie bei den Küretten des Herstellers C jeweils die Schneidekanten für die Mesialflächen der Seitenzähne (15/16) öfter scharf als die Schneidekanten für die Distalflächen (13/14). Bei den TiN-beschichteten Küretten ist eine höhere Standardabweichung zu beobachten.

Abbildungen 16 bis 19 zeigen exemplarisch den Verschleiß ausgewählter Küretten des Herstellers A.



Abbildung 16: Edelstahlkürette Nummer 54 des Herstellers A (Arbeitsende a, 15/16-Kürette) nach dem fünften klinischen Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten). Die Schneidekante wurde als „scharf“ eingestuft, da sie zwar visuell erkennbare Defekte aufwies, aber im mechanischen Test mittels Plastikteststäbchen als griffig und scharf befunden wurde. Im ersten klinischen Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) wurde die Schneidekante als „stumpf“ eingestuft, im zweiten (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) und im dritten Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) jeweils als „scharf“ und im vierten klinischen Einsatz (starke Beanspruchung, Einsatzdauer 16-20 Minuten) als „stumpf“. Bis zum fünften klinischen Einsatz wurde die Schneidekante demnach zweimal geschärft. Abbildung 17 zeigt die gleiche Schneidekante nach dem zehnten klinischen Einsatz.



Abbildung 17: Edelstahlkurette Nummer 54 (Arbeitsende a, 15/16-Kurette) des Herstellers A nach dem zehnten klinischen Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten). Hier wurde die Schneidekante als „leicht stumpf“ eingestuft. Abbildung 16 zeigt diese Schneidekante nach dem fünften Einsatz zur Parodontitistherapie. Im sechsten klinischen Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) wurde die Schneidekante als „scharf“ eingestuft, im siebten Einsatz (starke Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) als „stumpf“, im achten Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) als „leicht stumpf“ und im neunten Einsatz (starke Beanspruchung, Einsatzdauer 16-20 Minuten) als „stumpf“. In zehn Einzelversuchen blieb diese Schneidekante vier Mal scharf und wurde bis zum zehnten klinischen Einsatz fünf Mal geschärft.



Abbildung 18: Titannitrid-beschichtete Kürette Nummer 86 (Arbeitsende a, 13/14-Kürette) des Herstellers A nach dem fünften klinischen Einsatz (1. Durchlauf: leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten; 2. Durchlauf: starke Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten; 3. Durchlauf: mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten; 4. Durchlauf: mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten; 5. Durchlauf: mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten). Die Schneidekante wurde weiterhin als „scharf“ eingestuft. Es konnten zwar erste Abnutzungen der Schneidekante beobachtet werden, aber im mechanischen Test mittels Plastikteststäbchen war die Schneidekante jedoch einwandfrei griffig und deshalb als scharf* bewertet worden.

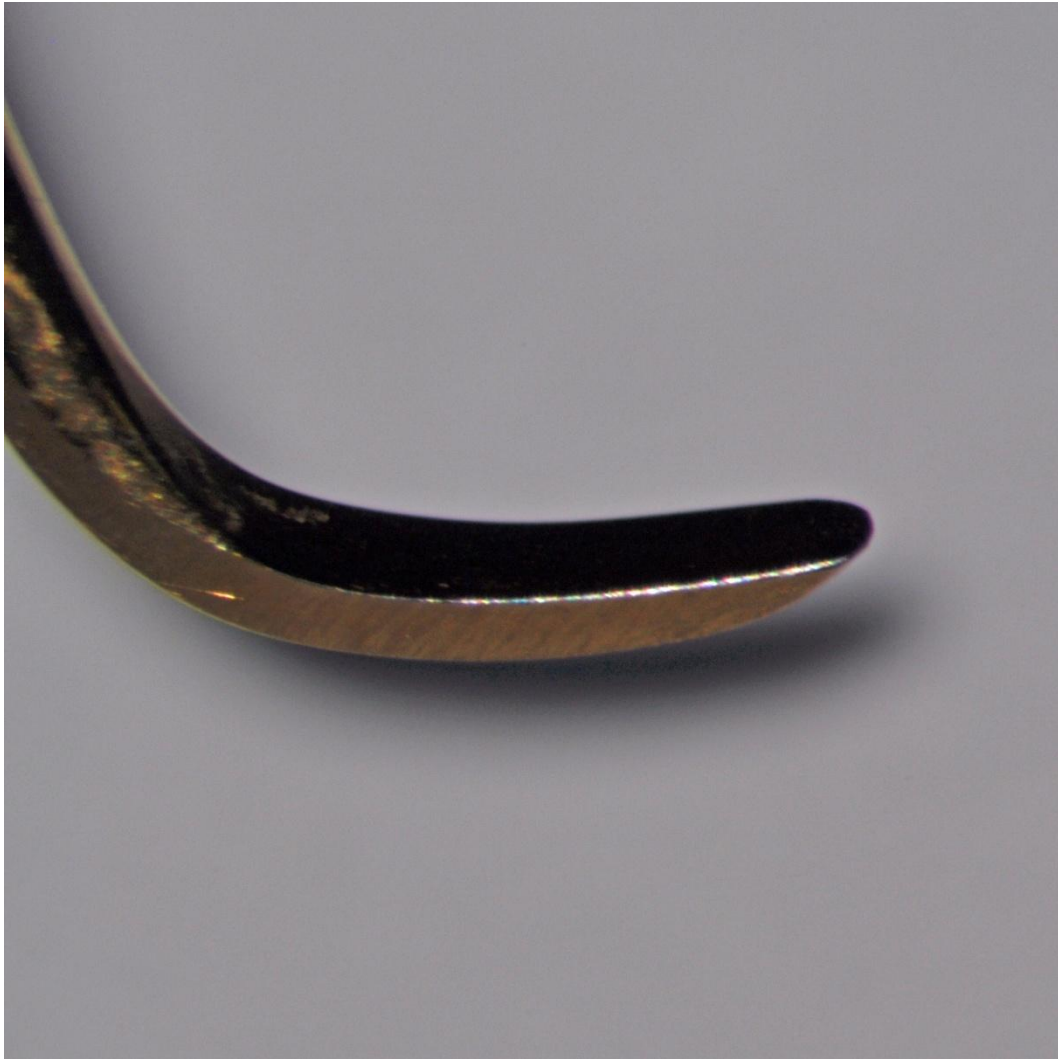


Abbildung 19: Titannitrid-beschichtete Kürette Nummer 93 (Arbeitsende b, 15/16-Kürette) des Herstellers A nach dem fünften klinischen Einsatz (1. Durchlauf: mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten; 2. Durchlauf: starke Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten; 3. Durchlauf: starke Beanspruchung, Einsatzdauer 16-20 Minuten; 4. Durchlauf: mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten; 5. Durchlauf: mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten). Die Schneidekante wurde als „stumpf“ eingestuft. Diese Schneidekante wurde bereits nach dem dritten Durchlauf als „leicht stumpf“ bezeichnet.

Von beiden Küettenmarken des Herstellers A, den Edelstahlküetten sowie den Titannitrid-beschichteten Küetten wurden ursprünglich je 20 Instrumente für die klinische Versuchsreihe bestellt. Beim Überprüfen der fabrikneuen Instrumente vor der ersten Aufbereitung für den Patienteneinsatz fiel jedoch auf, dass eine der TiN-beschichteten Schneidekanten der 15/16-Küetten mit der Nummer 77 beschädigt geliefert worden war. Die Schneidekante wies nicht die für eine effektive

Wurzeloberflächenreinigung erforderliche Kontinuität und Schärfe auf, sondern zeigte bläschenartige Defekte (Abbildung 20). Die Kürette Nummer 77 wurde deshalb aus der klinischen Studie ausgeschlossen, weshalb nur 19 TiN-beschichteten Küretten zur Verfügung standen.



Abbildung 20: Defekte Schneidekante (Arbeitsende a) einer TiN-beschichteten Kürette des Herstellers A. Aufgrund der bläschenartigen Defekte musste die fabrikneue Kürette aus der klinischen Versuchsreihe herausgenommen werden.

Vergleich der Edelstahlküretten

Für die klinische Versuchsreihe standen nur zehn Küretten des Herstellers B mit der Bezeichnung 11/12 zur Reinigung der Mesialflächen der Seitenzähne zur Verfügung, während von den anderen Kürettenmarken jeweils auch Küretten für die Reinigung der Distalflächen

der Seitenzähne im Einsatz waren. Dadurch ergab sich ein doppelt so großer Testumfang für die Küretten der Hersteller A und C. Um einen möglichst ebenbürtigen Vergleich zwischen den Edelstahlküretten zu ermöglichen, wurden für die nachfolgende Auswertung nur die Edelstahlküretten mit der Bezeichnung 15/16 der Hersteller A und C betrachtet, wodurch sich die Anzahl der Einzelversuche angleicht. Dadurch wurde ein möglicher Unterschied im Verschleißverhalten zwischen Mesial- und Distalküretten ausgeschlossen.

Im Durchschnitt wurden die Edelstahlküretten des Herstellers B in $4,9 \pm 1,5$ von zehn klinischen Einsätzen als „scharf“ eingestuft, die 15/16-Edelstahlküretten des Herstellers A in $5,1 \pm 1,4$ und die des Herstellers C in $6,1 \pm 1,3$. Das Ereignis „leicht stumpf“ trat in etwa gleich häufig auf (Hersteller A $3,1 \pm 1,4$, Hersteller B $2,8 \pm 1,5$, Hersteller C $2,8 \pm 1,3$). Am seltensten wurden die Edelstahlküretten des Hersteller C in den zehn klinischen Einsätzen für „stumpf“ befunden ($1,1 \pm 0,7$), gefolgt von den Edelstahlküretten des Herstellers A ($1,7 \pm 1,3$). Am häufigsten wurden die Edelstahlschneidekanten des Herstellers B in diese Kategorie eingestuft ($2,2 \pm 1,3$). Da die Küretten des Herstellers B häufiger für stumpf befunden wurden, mussten sie häufiger geschärft werden, weshalb gegen Ende der zehn klinischen Einsätze ein höherer Substanzverlust des Arbeitsteiles festzustellen war. Neben der bereits grazen Form führt das schnellere Stumpfwerden zu einer Limitierung der weiteren Nutzung.

Die Instrumente der Hersteller A und C wurden dabei häufiger bei konkrementbehafteten Wurzeloberflächen und häufiger länger als 16 Minuten eingesetzt, als die Küretten des Herstellers B (Kapitel 4.1.5).

Abbildung 21 zeigt ein Beispiel aus der Versuchsreihe mit den Edelstahlküretten des Herstellers B.



Abbildung 21: Edelstahlkurette Nummer 62 (Arbeitsende b, 11/12-Kurette) des Herstellers B nach dem dritten klinischen Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten). Die Schneidekante wurde als „stumpf“ eingestuft. Im ersten klinischen Einsatz (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) sowie im zweiten Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten“ wurde die Schneidekante als „scharf“ eingestuft und demnach bis zum dritten klinischen Einsatz nicht geschliffen. Im weiteren Verlauf wurde die Schneidekante in zehn Einsätzen vier Mal als „scharf“ eingestuft (im ersten, zweiten, vierten und sechsten Einsatz; 4. und 5. Durchlauf: leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten; 6. Durchlauf: leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten; 7. Durchlauf: leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten, 8. Durchlauf: starke Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten; 9. Durchlauf: mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten, 10. Durchlauf: mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten). Die Kurette wurde bis zum zehnten klinischen Einsatz fünf Mal geschärft und ist weiter einsatzfähig.

4.1.3 Sichtbare Defekte bei mechanisch scharfen Schneidekanten

Schneidekanten mit visuell erkennbaren minimalen Lichtreflexionen, die im mechanischen Test mittels Plastikteststäbchen einwandfrei griffig waren, wurden als „scharf*“ gewertet und zu den „scharfen“ Schneidekanten gezählt, weil vor dem nächsten klinischen Einsatz kein Schärfen und Schleifen erforderlich war. Der Anteil dieser „scharfen*“ Schneidekanten an der Gesamtzahl der als „scharf“ bewerteten Schneidekanten wird in Diagramm 4 ersichtlich.

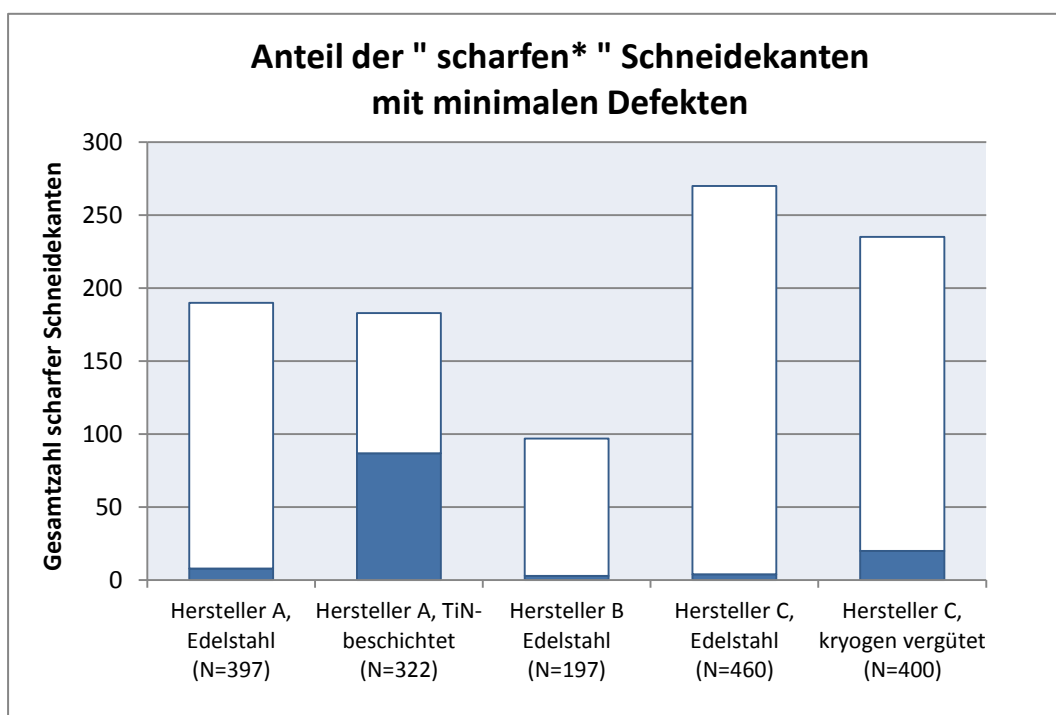


Diagramm 4: Anteil der mechanisch als „scharf*“ eingestuften Schneidekanten mit minimalen Defekten an der Gesamtzahl der scharfen Schneidekanten. Die Höhe der weißen Balken markieren die absolute Anzahl der visuell und mechanisch als scharf befundenen Schneidekanten, die dunkelblauen Anteile die als „scharf*“ befundenen Schneidekanten mit einzelnen, minimalen Lichtreflexionen auf der Schneidekante.

Mit einem Anteil von vier Schneidekanten mit minimalen Defekten (1,5 %) von 270 als „scharf“ befundenen Schneidekanten wiesen die Edelstahlküretten des Herstellers C den geringsten Anteil auf. Die kryogen vergüteten Schneidekanten des Herstellers C zeigten mit 20 „scharfen*“ einen Anteil von 8,5 % an 235 mechanisch „scharfen“ Schneidekanten. Bei acht der 190 „scharfen“ Schneidekanten der Edelstahlküretten des

Herstellers A (4,2 %) wurden bei der visuellen Überprüfung minimale Reflexionen an der Schneidekante gefunden sowie bei drei der 97 „scharfen“ Schneidekanten der Küretten des Herstellers B (3,1 %). Am höchsten war der Anteil der mechanisch als scharf bewerteten Schneidekanten mit minimalen Defekten bei den Titannitrid-beschichteten Küretten des Herstellers A: 87 von 183 mechanisch scharfer Schneidekanten wiesen leichte Defekte auf. Dieser hohe Anteil von 47,5 % deutet darauf hin, dass bei vielen dieser beschichteten Schneidekanten zunächst nur visuell eine Abnutzung zu erkennen war, wobei die sichtbaren Defekte noch nicht zu einer mechanischen Verschlechterung der Effektivität am Teststäbchen führten.

4.1.4 Gleichmäßige und ungleichmäßige Abnutzung der Schneidekante

Bei der Überprüfung der Schneidekantenschärfe wurde ebenfalls untersucht, ob bei einer „leicht stumpfen“ Schneidekante unregelmäßige Lichtreflexionen über die gesamte Länge verteilt aufzufinden waren, oder nur im vorderen bzw. hinteren Drittel der Schneidekante. Durch die spezifische Lokalisation der Abnutzung der Schneidekante kann eine Tendenz bezüglich der stattgefundenen Handhabung der Küretten gewonnen werden, wenn die Schneidekante während der Wurzeloberflächenreinigung nicht korrekt am Zahn angelegen hat. Solche Schneidekanten, die nur im vorderen Drittel Defekte aufwiesen, wurden als „leicht stumpf**“ dokumentiert, und Schneidekanten mit Defekten ausschließlich im hinteren Drittel als „leicht stumpf***“. In der vorangegangenen Auswertung wurden diese zu den „leicht stumpfen“ Schneidekanten gezählt, da hier ein Schleifprozess vor dem nächsten Durchlauf stattgefunden hatte. Tabelle 13 zeigt, welchen Anteil diese Variationen an der Gesamtzahl „leicht stumpfer“ Schneidekanten haben.

	Versuche insgesamt	Klinische Einsätze mit dem Ergebnis „leicht stumpf“	Davon „leicht stumpf**“, vorderes 1/3	Davon „leicht stumpf***“, hinteres 1/3
Hersteller A, Edelstahl	397	136	17 (12,5 %)	4 (2,9 %)
Hersteller A, TiN-beschichtet	322	115	2 (1,7 %)	0
Hersteller B, Edelstahl	197	56	7 (12,5 %)	0
Hersteller C, Edelstahl	460	129	31 (24,0 %)	6 (4,7 %)
Hersteller C, kryogen vergütete	400	99	22 (22,2 %)	7 (7,1 %)

Tabelle 13: Absolute und prozentuale Anzahl der „leicht stumpfen“ Schneidekanten, bei denen die Abnutzung ausschließlich im vorderen () bzw. im hinteren (***) Drittel der Schneidekante festgestellt wurde. Die Küretten des Herstellers C wiesen die höchsten Werte im vorderen Drittel auf.**

Die Küretten des Herstellers C wiesen mit 24,0 % und 22,2 % die höchsten Anteile an ausschließlich im vorderen Drittel abgenutzten Schneidekanten auf. 4,7 % der Edelstahlschneidekanten sowie 7,1 % der kryogen vergüteten Schneidekanten dieses Herstellers wurden im hinteren Drittel als „leicht stumpf***“ befunden. Die Schneidekanten der Edelstahlküretten des Herstellers A wiesen zu 12,5 % nur im vorderen und zu 2,9 % nur im hinteren Drittel leichte Defekte auf. Die Schneidekanten der Küretten des Herstellers B wurden zu 12,5 % im vorderen Drittel als „leicht stumpf**“ beurteilt, den geringsten Anteil zeigten hier die TiN-beschichteten Schneidekanten mit 1,7 %. Bei den beiden letzteren wurden keine Schneidekanten mit einer ausschließlichen Abnutzung des hinteren Drittels dokumentiert.

Abbildung 22 zeigt eine Schneidekante, bei der das vordere Drittel deutlich mehr abgenutzt ist als der Rest der Schneidekante.

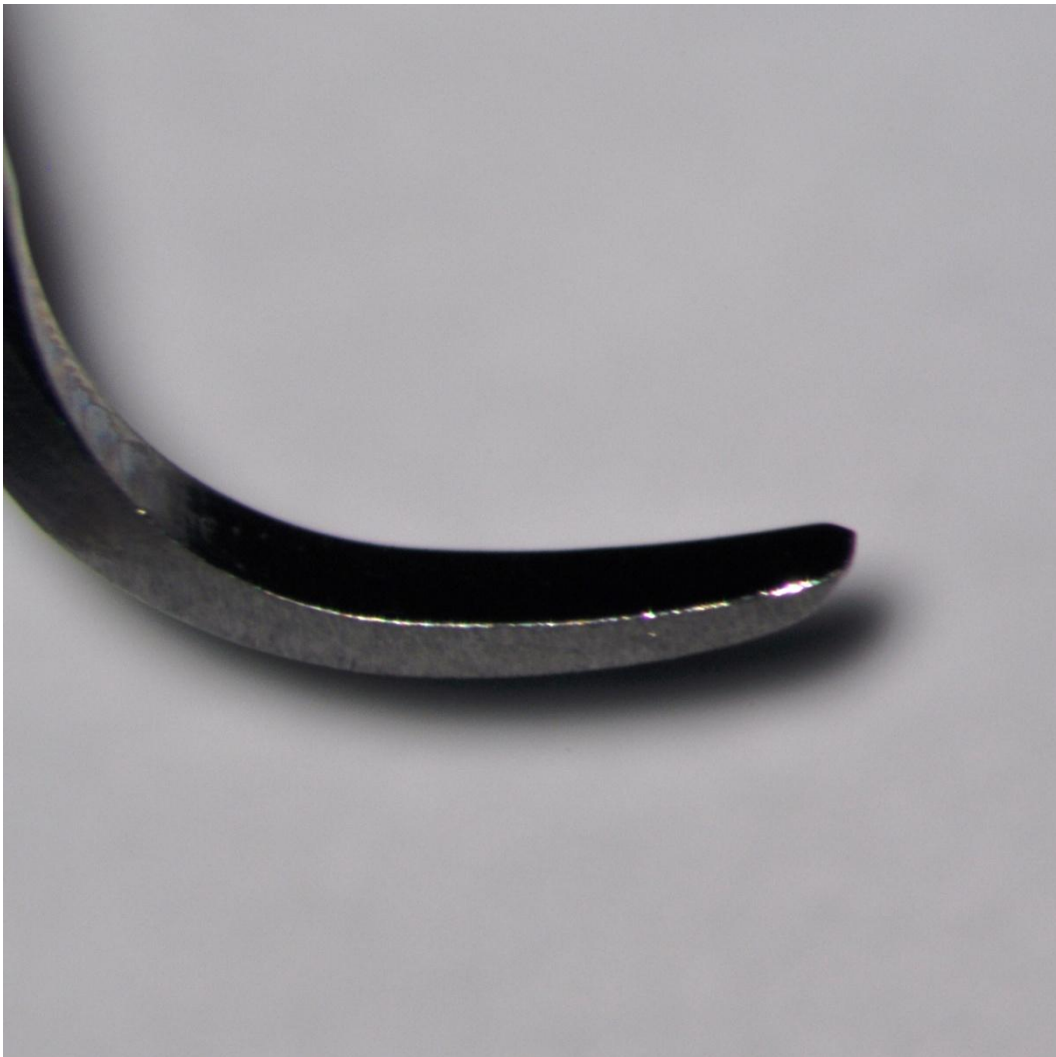


Abbildung 22: Kryogen vergüteten Kürette Nummer 32 (Arbeitsende b, 13/14-Kürette) des Herstellers C nach dem siebten klinischen Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten). Die Schneidekante wurde als „leicht stumpf“ bewertet, da sie vor allem im vorderen Drittel der Schneidekante stumpf war. Im ersten klinischen Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) sowie im zweiten (leichte Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) und dritten Einsatz (starke Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) wurde die Schneidekante als „scharf“ eingestuft. Im vierten Einsatz (starke Beanspruchung, Einsatzdauer 14-16 Minuten) wurde die Schneidekante als „stumpf“ eingestuft, im fünften Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) als „scharf“ und im sechsten Einsatz (mittlere Beanspruchung, Einsatzdauer 10-14 Minuten) als „leicht stumpf“. Folglich musste die Schneidekante bis zum siebten klinischen Einsatz zweimal geschärft werden.

4.1.5 Auswirkung der unterschiedlichen Intensitäten des Küretteneinsatzes

Im klinischen Teil wurden die Küretten durch unterschiedliche Behandler an Patienten mit unterschiedlich schwerer Parodontitis und einer abweichenden Anzahl und Menge an Konkrementen sowie Restaurationsrändern angewandt. Dadurch resultierten unterschiedlich intensive Einsätze der Instrumente. Um eine gewisse Vergleichbarkeit hinsichtlich des Einsatzes zu bestimmen, wurden die Küretten im Patienteneinsatz in drei Gruppen unterschieden: leichte, mittlere und starke Beanspruchung (Tabelle 14).

Beanspruchung der Küretten	N	Leicht Wenig Taschen, weiche Beläge	Mittel Viele Taschen, weiche Beläge	Stark Konkremente
Hersteller A, Edelstahl	397	2,0 ± 1,2	5,3 ± 1,1	2,7 ± 1,2
Hersteller A, TiN-beschichtet	322	1,5 ± 1,2	4,1 ± 1,5	2,8 ± 1,4
Hersteller B, Edelstahl	197	3,3 ± 1,1	5,1 ± 1,1	1,4 ± 0,5
Hersteller C, Edelstahl	460	2,4 ± 1,1	5,0 ± 1,3	2,6 ± 1,3
Hersteller C, kryogen vergütet	400	2,6 ± 1,6	4,7 ± 1,7	2,8 ± 1,6

Tabelle 14: Mittelwerte der unterschiedlichen Beanspruchung der Küretten, ausgedrückt als „Anteile von zehn klinischen Einsätzen“. Der Wert gibt an, wie oft von zehn klinischen Einsätzen die Schneidekanten durchschnittlich „leicht“, „mittel“ oder „stark“ beansprucht wurden. N ist die Anzahl der durchgeführten Einzelversuche.

Die Einsatzhäufigkeit für eine „leichte“ Beanspruchung der Küretten war für die Edelstahlfabrikate der Hersteller A und C wie auch für die kryogen gehärteten und TiN-beschichteten Küretten mit Häufigkeiten von $2,0 \pm 1,2$ bis $2,6 \pm 1,6$ von zehn klinischen Einsätzen sehr ähnlich. Indes wurden die Edelstahlküretten des Herstellers B im Vergleich mit $3,3 \pm 1,1$ von zehn Einzelversuchen etwas öfter nur „leicht“ eingesetzt. Eine „mittlere“ Beanspruchung erfolgte bei allen Küretten etwa gleich häufig, von $4,1 \pm 1,5$ bis $5,3 \pm 1,1$ Mal. Eine „starke“ Beanspruchung trat bei den Küretten der Hersteller A und C in $2,6 \pm 1,3$ bis $2,8 \pm 1,6$ Behandlungen

ein. Auffällig war, dass die Küretten des Herstellers B von den Behandlern bei nur $1,4 \pm 0,5$ Behandlungen mit „starker“ Beanspruchung und damit weniger häufig beim Vorhandensein von Konkrementen eingesetzt wurden. Hier wurden für die Entfernung der festhaftenden Auflagerungen Schallinstrumente oder anderen Küretten bevorzugt. Die Diagramme 5 bis 9 geben die prozentualen Häufigkeiten der unterschiedlichen Beanspruchung wieder.

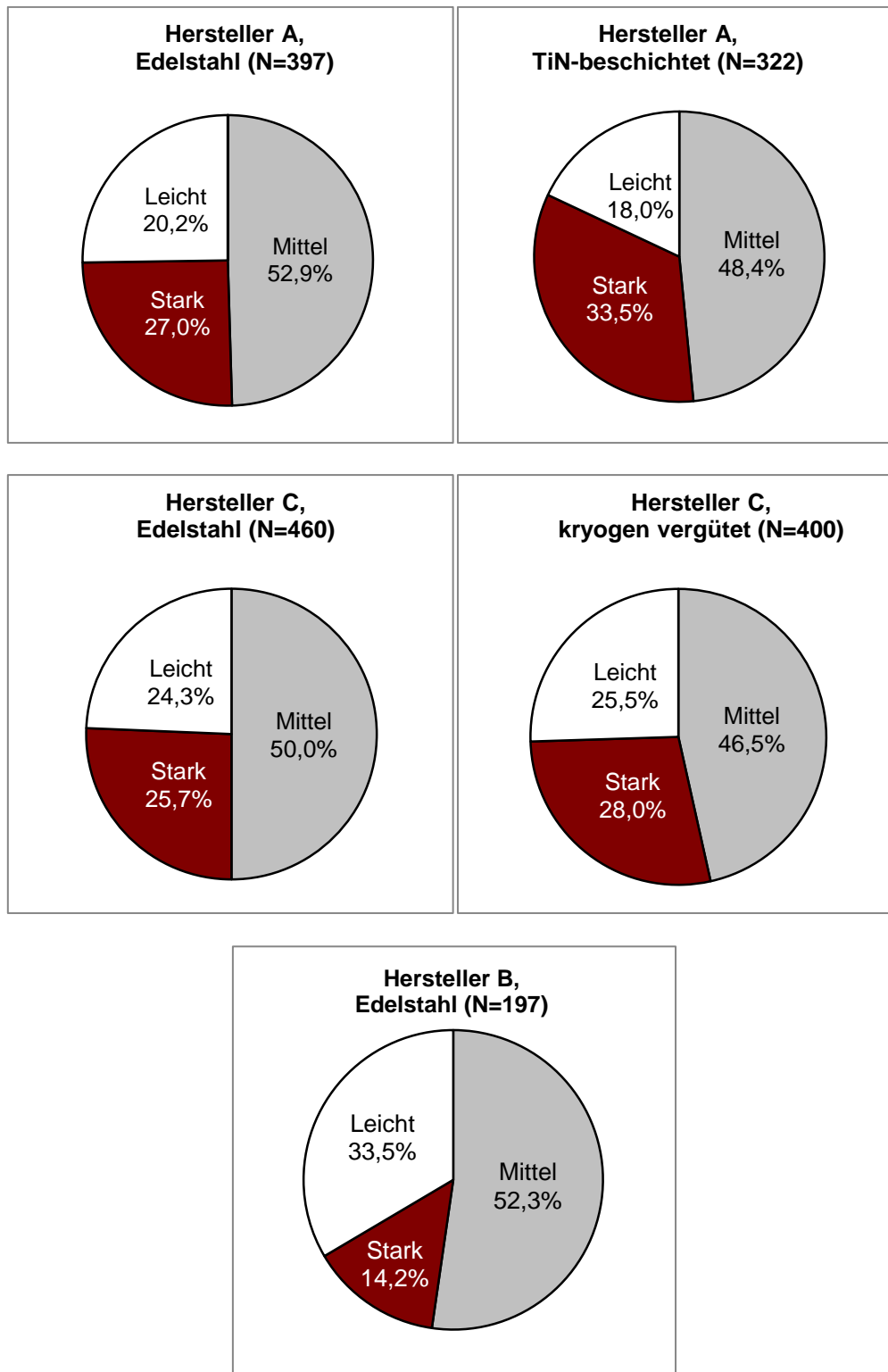


Diagramme 5 - 9: Prozentuale Darstellung der Werte aus Tabelle 14, wie häufig die Küretten während zehn Einsätzen zur Parodontitistherapie einer leichten, mittleren und starken Beanspruchung ausgesetzt waren. Die Edelstahlküretten des Herstellers B wurden deutlich seltener benutzt, wenn Konkremente entfernt werden mussten. N ist die Anzahl der durchgeführten klinischen Einsätze.

Neben dem parodontalen Einsatz wurde auch die benötigte Einsatzdauer verglichen. Verknüpft man die beiden Einflussparameter der klinischen Studie (Dauer des Instrumenteneinsatzes und den Grad der Beanspruchung der Schneidekanten) miteinander, so entstehen für jede Kürette neun verschiedene Kombinationsmöglichkeiten hinsichtlich der Intensität des Arbeitseinsatzes (Tabelle 15).

	Bean- spruchung	Dauer des Instrumenteneinsatzes		
		10-14 min	14-16 min	16-20 min
Hersteller A, Edelstahl (397 Einsätze)	Leicht	16,6 %	2,5 %	1,0 %
	Mittel	9,6 %	38,8 %	4,5 %
	Stark	5,0 %	11,3 %	10,6 %
Hersteller A, TiN-beschichtet (322 Einsätze)	Leicht	13,4 %	4,7 %	-
	Mittel	13,0 %	28,6 %	6,8 %
	Stark	6,5 %	13,7 %	13,4 %
Hersteller B, Edelstahl (197 Einsätze)	Leicht	22,3 %	7,1 %	4,1 %
	Mittel	18,3 %	28,9 %	5,1 %
	Stark	8,1 %	6,1 %	-
Hersteller C, Edelstahl (460 Einsätze)	Leicht	17,0 %	6,5 %	0,9 %
	Mittel	18,3 %	26,1 %	5,7 %
	Stark	3,9 %	12,6 %	9,1 %
Hersteller C, kryogen vergütet (400 Einsätze)	Leicht	22,0 %	3,0 %	0,5 %
	Mittel	17,0 %	25,0 %	4,5 %
	Stark	3,0 %	13,0 %	12,0 %

Tabelle 15: Prozentuale Häufigkeiten, wie oft die Küretten mit einer bestimmten Intensität eingesetzt wurden. Die Intensität wird durch die Art der Beanspruchung (leicht, mittel, stark) sowie durch die Dauer des Instrumenteneinsatzes (10-14 min, 14-16 min, 16-20 min) bestimmt. Auffällig ist, dass die Edelstahlküretten des Herstellers B nie mit sehr starker Intensität (starke Beanspruchung und gleichzeitig ein Instrumenteneinsatz von 16-20 Minuten) benutzt wurden.

Eine sehr leichte Intensität des Arbeitseinsatzes (leichte Beanspruchung und eine Dauer des Instrumenteneinsatzes von 10 bis 14 Minuten) wurde in minimal 13,4 % der Einzelversuche (Titannitrid-beschichtete Küretten) sowie in maximal 22,3 % (Edelstahlküretten des Herstellers B) dokumentiert. Eine leichte Intensität (leichte Beanspruchung und Dauer von 14 bis 16 Minuten) trat in 2,5 % bis 7,1 % der Einzelversuche auf. Eine mäßig leichte Intensität (leichte Beanspruchung und eine Dauer von 16 bis 20 Minuten) trat bei den Edelstahlküretten der Hersteller A und C

sowie bei den kryogen vergüteten Küretten in 0,5 % bis 1,0 % auf, im Fall der Küretten des Herstellers B in 4,1 %. Bei den TiN-beschichteten Küretten wurde kein solcher Fall dokumentiert.

Für eine mittlere Beanspruchung der Schneidekanten und eine gleichzeitige Dauer des Küretteneinsatzes von 10 bis 14 Minuten ergaben sich Werte von 13,0 % bis 18,3 % für die Küretten der Hersteller B und C sowie für die Titannitrid-beschichteten Küretten. Die Edelstahlküretten des Herstellers A wurden in nur 9,6 % der Einzelversuche unter diesen Bedingungen verwendet. Diese Küretten wurden indes zu 38,8 % bei mittlerer Beanspruchung und einer Dauer von 14 bis 16 Minuten eingesetzt, während die anderen Kürettenmarken in 25,0 % bis 28,9 % der Fälle dieser Intensität ausgesetzt waren. Bei mittlerer Beanspruchung und gleichzeitigem Instrumenteneinsatz zwischen 16 und 20 Minuten sind die Werte mit 4,5 % bis 6,8 % für alle Kürettenmarken wiederum annähernd gleich groß.

Eine mäßig starke Intensität des Arbeitseinsatzes (starke Beanspruchung und eine Dauer von 10 bis 14 Minuten) wurde bei den Küretten des Herstellers C in 3,0 % bis 3,9 % der Fälle festgestellt, bei den Küretten des Herstellers A in 5,0 % bis 6,5 % und bei den Küretten des Herstellers B in 8,1 %. Letztere wurden indes in 6,1 % der Einzelversuche bei einer starken Beanspruchung und einer gleichzeitigen Dauer von 14 bis 16 Minuten verwendet, während sich die Häufigkeiten für diese Intensität bei den Küretten der Hersteller A und C wiederum ähneln (11,3 % bis 13,7 %). Eine sehr starke Intensität (starke Beanspruchung und eine Dauer von 16 bis 20 Minuten) wurde in 9,1 % bis 13,4 % der Fälle, in denen mit den Küretten der Hersteller A und C gearbeitet wurde, dokumentiert. Die Küretten des Herstellers B wurden bei vorhandenen Konkrementen in keinem Fall länger als 16 Minuten benutzt, da die Behandler dann bevorzugt das eigene Instrumentarium oder Schallansätze zur Wurzeloberflächenreinigung verwendeten.

Auswirkung der Intensität des Einsatzes auf die Abnutzung der Schneidekanten

Die ordinale logistische Regressionsanalyse ergab, dass die Intensität des Küretteneinsatzes (Dauer des Instrumenteneinsatzes und Beanspruchung der Schneidekanten) einen großen Einfluss auf die Abnutzung der Schneidekanten hatte. Dieser war hoch signifikant ($p < 0,0001$, Tabelle 16). Die Berechnung bezieht sich auf den Vergleich mit den kryogen vergüteten Küretten des Herstellers C und bezieht die Küretten des Herstellers B ebenfalls ein.

Ergebnisse der Hypothesentests			
Effekt	DF (Freiheitsgrade)	Wald Chi-Square	p-Wert
Type	4	16,7710	0,0021
Intensity	1	25,8703	<,0001
Intensity2	1	14,4432	0,0001
Intensity*type	4	14,9177	0,0049
Intensity2*type	4	19,5894	0,0006

Tabelle 16: Ergebnisse der Hypothesentests aus der ordinalen logistischen Regressionsanalyse.

Tabelle 17 zeigt die Werte der Kürettenmarken der Hersteller A und C im Vergleich zu den TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A. Die Wechselwirkungsterme zwischen der Intensität und den Küretten des Herstellers A und C ergaben nicht signifikante Werte ($p = 0,89$ für die Edelstahlküretten des Herstellers A, $p = 0,42$ für die Edelstahlküretten des Herstellers C und $p = 0,19$ für die kryogen vergüteten Küretten).

Ergebnisse zu den Regressionskoeffizienten						
Parameter		DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	p-Wert
Intercept	2	1	-4,8870	0,8062	36,7448	<,0001
Intercept	1	1	-3,1479	0,8024	15,3906	<,0001
Type	Hersteller A, Edelstahl	1	1,2805	0,9057	1,9988	0,1574
Type	Hersteller C, Edelstahl	1	1,2697	0,9024	1,9798	0,1594
Type	Hersteller C, kryogen vergütet	1	0,2467	0,9236	0,0713	0,7894
Intensity		1	0,4591	0,2976	2,3799	0,1229
Intensity2		1	-0,0285	0,0260	1,1971	0,2739
Intensity*type	Hersteller A, Edelstahl	1	0,0460	0,3400	0,0183	0,8923
Intensity*type	Hersteller C, Edelstahl	1	-0,2769	0,3416	0,6570	0,4176
Intensity*type	Hersteller C, kryogen vergütet	1	0,4596	0,3476	1,7481	0,1861
Intensity2*type	Hersteller A, Edelstahl	1	0,00926	0,0301	0,0943	0,7587
Intensity2*type	Hersteller C, Edelstahl	1	0,0490	0,0304	2,6016	0,1068
Intensity2*type	Hersteller C, kryogen vergütet	1	-0,0337	0,0307	1,2046	0,2724

Tabelle 17: Ergebnisse zu den Regressionskoeffizienten aus der ordinalen logistischen Regressionsanalyse. Alle Werte beziehen sich auf den Vergleich mit den TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A. Die drei anderen Küretten, seien es die Küretten aus Edelstahl des Herstellers A oder die beiden Küretten des Herstellers C, verschlissen nicht schneller als die TiN-beschichteten Küretten.

In den Diagrammen 10 bis 12 ist dargestellt, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Küretten in Abhängigkeit von der Intensität keine Abnutzung (10), eine leichte Abnutzung (11) oder eine starke Abnutzung (12) an der Schneidekante erfuhren.

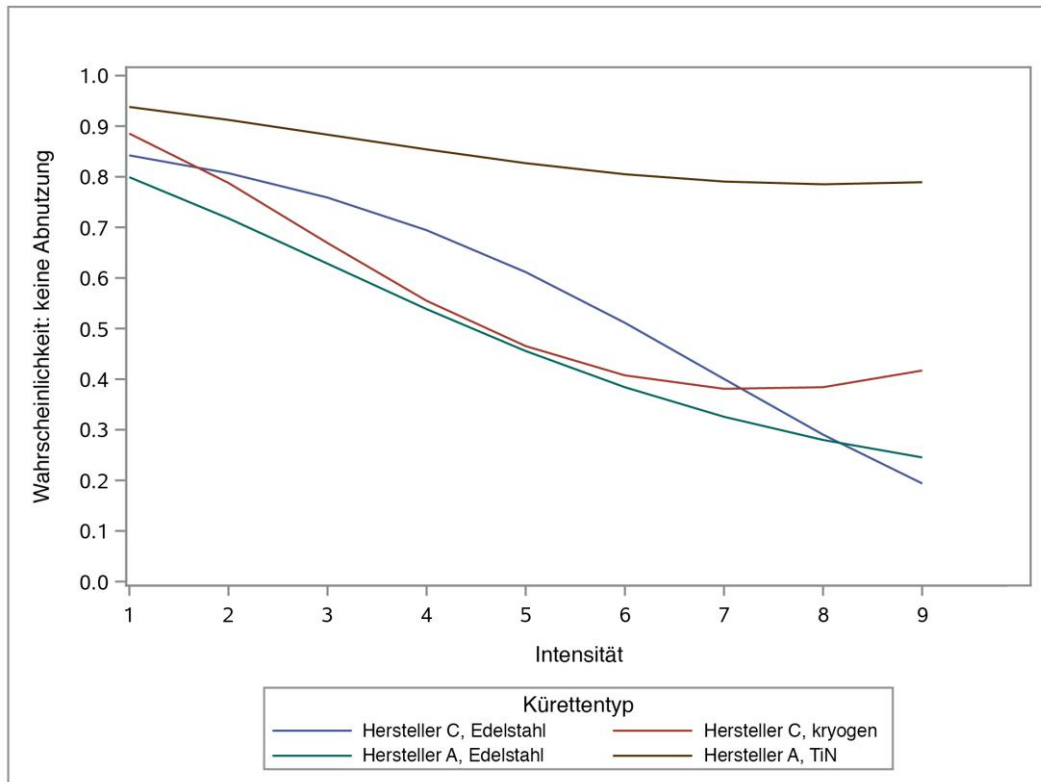


Diagramm 10: Grafische Darstellung der aus dem ordinalen logistischen Regressionsmodell vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten, mit der aus einer Intensität gegebener Stärke (1 bis 9) keine Abstumpfung resultiert. Die TiN-beschichteten Küretten zeigten häufiger keine Abnutzung als die anderen Küretten. Bei allen Küretten sank mit steigender Intensität die Wahrscheinlichkeit, dass die Küretten scharf blieben. Der leichte Anstieg der kryogen vergüteten Küretten ist wahrscheinlich ein Modellierungsartefakt.

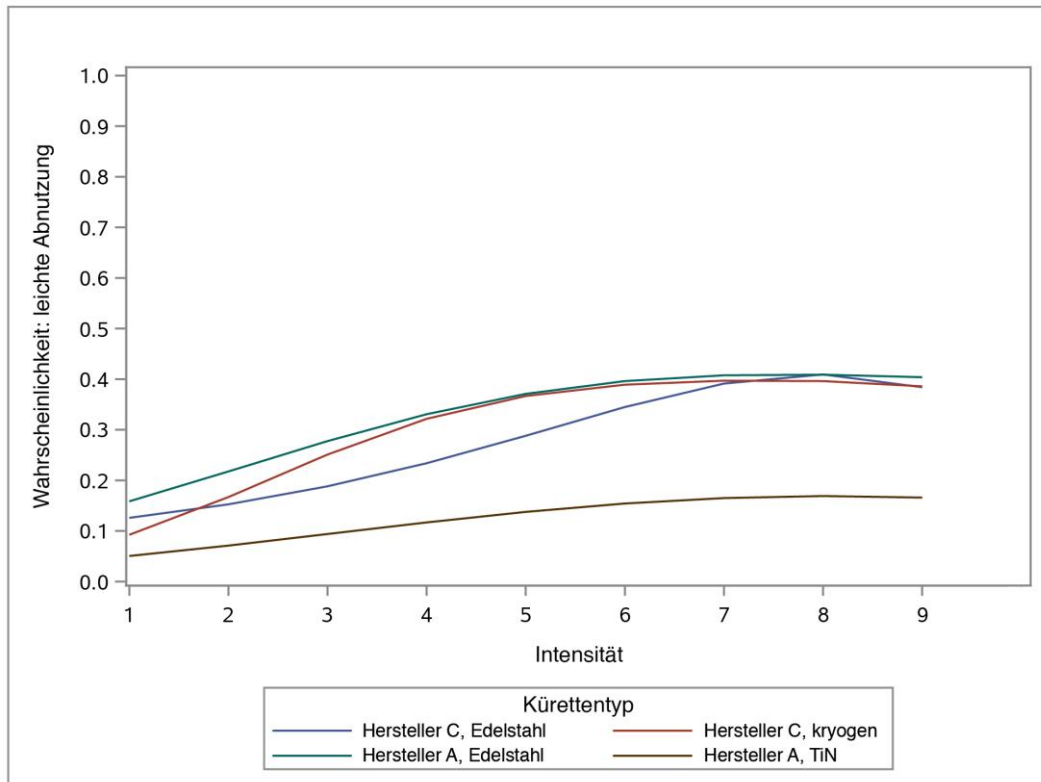


Diagramm 11: Grafische Darstellung, mit welcher Wahrscheinlichkeit aus einer Intensität gegebener Stärke (1 bis 9) eine leichte Abstumpfung resultiert.

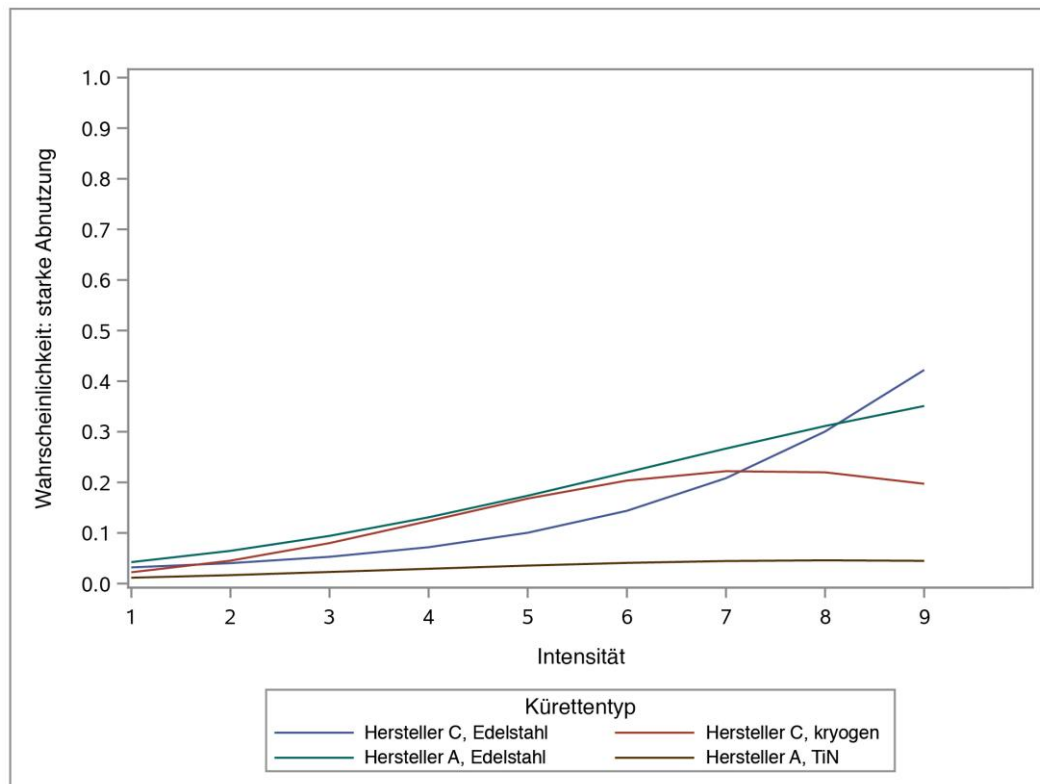


Diagramm 12: Grafische Darstellung, mit welcher Wahrscheinlichkeit aus einer Intensität gegebener Stärke (1 bis 9) eine starke Abstumpfung der Küretten resultiert. Für die TiN-beschichteten Küretten war die Häufigkeit einer starken Abstumpfung sehr gering, da die Abnutzung dieser Schneidekanten meist von „scharf“ über „leicht stumpf“ bis „stumpf“ verlief. Eine starke Abnutzung von „scharf“ auf „stumpf“ wurde nur in 2 von 322 Einzelversuchen festgestellt.

4.1.6 Endzustand der Küretten nach zehn Einsätzen

Tabelle 18 zeigt den Zustand der Schneidekanten nach Beendigung des zehnten klinischen Einsatzes. Es wurde dargestellt, welche der Schneidekanten noch weiter genutzt werden konnten und welche sich für den weiteren Einsatz am Patienten nicht mehr oder nur begrenzt eigneten. Bei den Edelstahlküretten sowie bei den kryogen vergüteten Küretten war der Substanzverlust am Arbeitsteil durch den klinischen Einsatz und dem erforderlichen Schärfen ausschlaggebend für die Bewertung. Bei den TiN-beschichteten Küretten beendete die Bewertung „stumpf“ mit dem Plastikteststäbchen den weiteren Einsatz am Patienten. „Leicht stumpfe“ Schneidekanten wurden als eingeschränkt nutzbar (weitere ein- bis fünfmal einsetzbar) und „scharfe“ Schneidekanten mit minimalen Defekten der Beschichtung wurden als voll weiter nutzbar bewertet.

Schleifbare Küretten mit stark verkürztem und/oder verschmälertem Arbeitsende wurden als nicht weiter nutzbar eingestuft. Küretten mit deutlichem Substanzverlust ohne Verlust der funktionalen Form der Schneidekante wurden als eingeschränkt nutzbar und Schneidekanten mit geringem Substanzverlust wurden als auf unbestimmte Zeit weiter nutzbar eingeschätzt. Tabelle 18 listet die Anzahl der Schneidekanten jeder Kürettenmarke auf, die nach den zehn klinischen Einsätzen in diese drei Kategorien eingeteilt werden konnten.

	Anzahl der Schneidekanten		
	Nach 10 Einsätzen nicht weiter nutzbar	Nach 10 Einsätzen noch ca. ein- bis fünfmal nutzbar	Nach 10 Einsätzen auf unabsehbare Zeit weiter nutzbar
Hersteller A, Edelstahl (N=40)	1 (2,5 %)	20 (50 %)	19 (47,5 %)
Hersteller A, TiN-beschichtet (N=38)	24 (63,2 %)	10 (26,3 %)	4 (10,5 %)
Hersteller B, Edelstahl (N=20)	3 (15 %)	12 (60 %)	5 (25 %)
Hersteller C, Edelstahl (N=46)	0	3 (6,5 %)	43 (93,5 %)
Hersteller C, kryogen vergütete (N=40)	0	1 (2,5 %)	39 (97,5 %)

Tabelle 18: Beurteilung der Schneidekanten nach zehn klinischen Einsätzen bezüglich der Möglichkeit des weiteren Einsatzes am Patienten. N ist die ursprüngliche Anzahl der eingesetzten Schneidekanten.

Während 47,5 % der Edelstahlschneidekanten des Herstellers A nach zehn Einsätzen zur Parodontitistherapie in vivo noch voll weiter nutzbar erschienen, wurden 50 % der Schneidekanten als eingeschränkt weiter nutzbar und eine Schneidekante (2,5 %) durch den starken Substanzverlust des Arbeitsteils als nicht weiter nutzbar befunden. Bei den Titannitrid-beschichteten Schneidekanten blieben 10,5 % weiter nutzbar, während 26,3 % geschätzt nur mehr für bis zu fünf Einsätze verwendbar und 63,2 % der Schneidekanten nicht weiter nutzbar waren. 25 % der Edelstahlschneidekanten des Herstellers B wurden nach zehn

Einsätzen am Patienten als weiter nutzbar eingestuft, indes 60 % nur mehr eingeschränkt weiter nutzbar waren. Durch den starken Verschleiß mit Verkürzung und Verschmälerung der Arbeitsteile bei den meisten dieser Schneidekanten wurde angenommen, dass es in nächsten ein bis zwei Arbeitseinsätzen zu einem vollständigen Verlust der Funktionalität kommt. 15 % der Schneidekanten des Herstellers B waren nach zehn Durchläufen nicht weiter nutzbar. Die Schneidekanten des Herstellers C blieben zu 93,5 % (Edelstahl) bzw. zu 97,5 % (kryogen vergütet) voll weiter einsatzfähig. Drei Edelstahlschneidekanten (6,5 %) und eine kryogen vergütete Schneidekante (2,5 %) wurden als eingeschränkt weiter nutzbar eingestuft. Keine Schneidekante dieses Herstellers war nach den zehn Einsätzen zur Parodontitistherapie nicht mehr nutzbar.

Die Abbildungen 23 bis 25 zeigen den Endzustand ausgewählter Küretten nach dem zehnten klinischen Einsatz.



Abbildung 23:
Fazialfläche der
Schneidekante der
Kürette Nr. 75
(Edelstahlkürette des
Herstellers A) nach dem
zehnten klinischen
Einsatz. Diese
Schneidekante wurde
drei Mal geschliffen und
nach Beendung der
klinischen Versuche als
uneingeschränkt weiter
nutzbar befunden.



Abbildung 24:
Fazialfläche der
Schneidekante der
Kürette Nr. 68
(Edelstahlkürette des
Herstellers B) nach
dem zehnten klinischen
Einsatz. Diese
Schneidekante wurde
fünf Mal geschliffen
und aufgrund des
deutlichen
Substanzverlusts nach
Beendung der
klinischen Versuche als
nicht weiter einsetzbar
befunden.



Abbildung 25:
Fazialfläche der
Schneidekante der
Kürette Nr. 3
(Edelstahlkürette des
Herstellers C) nach
dem zehnten klinischen
Einsatz. Die
Schneidekante wurde
vier Mal geschärft und
nach Beendung der
klinischen Versuche als
uneingeschränkt weiter
nutzbar befunden.

4.1.7 Betriebswirtschaftlich Betrachtung der Küretten nach zehn Einsätzen

Die Anschaffungskosten der Küretten der verschiedenen Hersteller unterscheiden sich zum Teil beträchtlich voneinander. Aufgrund der unterschiedlichen Haltbarkeit der Instrumente kommen auch abweichende laufende Kosten hinzu, da die Küretten unterschiedlich oft geschärft und geschliffen werden und nach unterschiedlicher Lebensdauer durch ein neues Instrument ersetzt werden müssen.

Im Unterschied zu allen anderen Instrumenten der Studie können die neuartigen Küretten des Herstellers A aufgrund der Beschichtung nicht geschliffen werden. Dadurch entfallen einerseits laufende Kosten für Schleifprozesse (Zeit- und Kostenaufwand), andererseits ist eine Neuanschaffung nötig, sobald die Beschichtung an der Schneidekante verloren gegangen ist. Nach durchschnittlich $7,8 \pm 2,1$ Einsätzen am Patienten waren 63,2 % der Schneidekanten nicht weiter einsetzbar, da ein vollständiger Verlust der Beschichtung festgestellt wurde und die Schneidekanten auch mechanisch als „stumpf“ eingestuft wurden. Um die Wurzelreinigung und -glättung beim nächsten Patienten suffizient durchführen zu können, ist der Ersatz der betreffenden Kürette durch ein neues Instrument notwendig. Diagramm 13 zeigt, welche TiN-beschichteten Schneidekanten nach welcher Anzahl an Einsätzen zur Parodontistherapie als nicht weiter einsetzbar gewertet wurden. Es wurde außerdem abgeschätzt, wie viele Nachkäufe dadurch während der laufenden ersten zehn Einsätze notwendig gewesen wären.

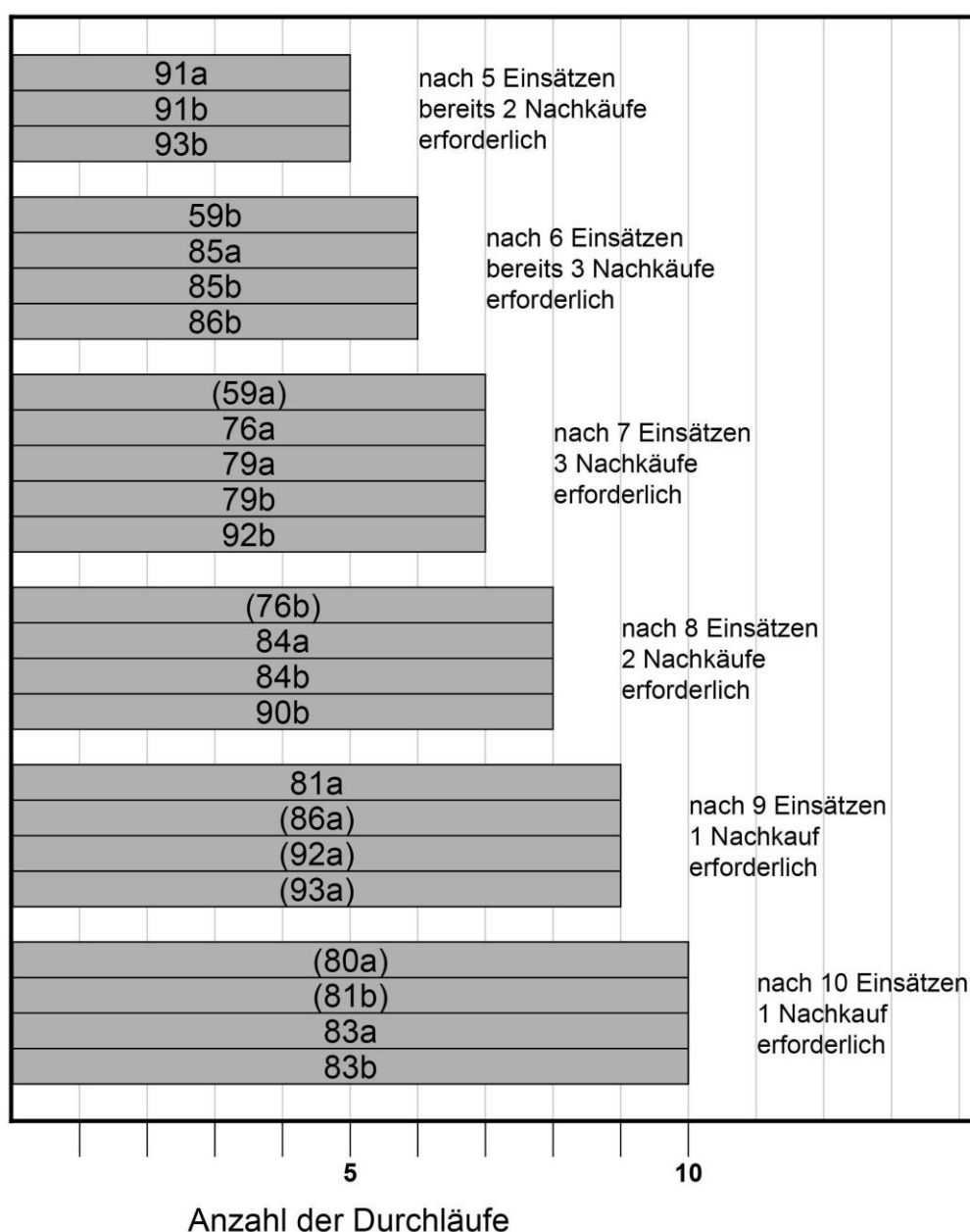


Diagramm 13: Anzahl der Einsätze der TiN-beschichteten Küretten und notwendige Nachkäufe innerhalb von zehn Durchläufen der klinischen Studie. Es ist dargestellt, nach wie vielen klinischen Einsätzen die Schneidekanten mit dem Teststäbchen als „stumpf“ und deshalb, da sie nicht geschliffen werden können, als nicht weiter einsetzbar eingestuft wurden. Um bei diesen Küretten eine Mindestanzahl von zehn Arbeitseinsätzen zu erreichen, müssten insgesamt elf Instrumente innerhalb der ersten zehn Einsätze zur Parodontistherapie nachgekauft werden, sowie ein weiteres Instrument nach beendetem zehntem Einsatz. Da die Schneidekanten in der Studie einzeln betrachtet wurden, sind diejenigen Schneidekanten eingeklammert, welche durch die frühere Abstumpfung der gegenüberliegenden Schneidekante des doppelseitigen Instruments schon in einen Neukauf einberechnet wurden. Sieben Küretten waren nach zehn Einsätzen noch weiter einsatzfähig.

Zusammenfassend ist in Tabelle 19 aufgezeigt, wie sich die fiktive Einberechnung der Kosten für Schleifprozesse sowie notwendige Nachkäufe von Instrumenten innerhalb von zwanzig klinischen Einsätzen auswirken.

Der Kaufpreis der in die klinische Studie einbezogenen Instrumente variierte von 52,48 € (Edelstahlküretten des Herstellers C) bis 85,56 € (TiN-beschichtete Küretten des Herstellers A, Preise inkl. MwSt., loser.de, adsystems.de, shop.nwd.de am 30.12.2015).

Um die laufenden Kosten abzuschätzen, wurde eine aktuelle Preisliste eines Schleifservices (Platzeck-Dental 2014) herangezogen (5,30 € pro doppelendiger Kürette, inkl. MwSt.). Um das Porto für den Versand zum Schleifservice einzurechnen, wurde angenommen, dass jeweils 20 Instrumente in einem Paket zu je 4,90 € verschickt werden. Die Kosten für Schleifprozesse plus Hin- und Rückversand wurden für 20 Durchläufe mit der Anzahl der notwendigen Schleifprozesse multipliziert. Dadurch entstehen bei den Edelstahlküretten des Herstellers A bei dieser fiktiven Berechnung Kosten von 30,11 € während der ersten zehn Einsätze am Patienten, die zum Kaufpreis hinzukommen. Für weitere zehn Einsätze werden diese Kosten nochmals berechnet, auch müssen geschätzte 50 % der doppelendigen Instrumente aufgrund des Substanzverlustes der Arbeitsteile ersetzt werden. Insgesamt wurden für die Edelstahlküretten des Herstellers A Kosten in Höhe von 148,57 € je Kürette für 20 klinische Einsätze errechnet.

Für die TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A fallen zwar keine Kosten für Schleifprozesse an, andererseits lässt sich durch die Ergebnisse der Studie abschätzen, dass während der ersten zehn Einsätze aufgrund des vollständigen Verlusts der Beschichtung an den Schneidekanten mancher Instrumente bereits elf Nachkäufe erforderlich wurden. Für die Verwendung der Küretten für weitere zehn Einsätze wurde angenommen, dass letztendlich auch alle Küretten mit „leicht stumpfen“ Schneidekanten ersetzt werden. Dadurch müssen insgesamt

geschätzt etwa 89,5 % der Instrumente für zwanzig Einsätze nachgekauft werden, davon 57,9 % bereits während der ersten zehn Einsätze. Insgesamt belaufen sich die Kosten für eine einsatzfähige TiN-beschichtete Kürette für 20 Durchläufe auf 162,18 €.

Für die Edelstahlküretten des Herstellers B wurden Kosten von 29,53 € für Schleifprozesse während der ersten zehn Einsätze geschätzt. Nach den ersten zehn Einsätzen in vivo müssen aufgrund des starken Verschleißes 80 % der Instrumente ausgetauscht werden. Unter Berücksichtigung des Portos für den Versand zum Schleifservice entstehen für 20 klinische Einsätze Kosten in Höhe von 166,16 € pro Kürette.

Sowohl für die Edelstahlküretten als auch für die neuartigen kryogen vergüteten Küretten des Herstellers C ergab die fiktive Berechnung der Kosten für Schleifprozesse eine Summe von 23,74 € pro doppelendigem Instrument. Nach den ersten zehn Einsätzen zur Parodontitistherapie müssen 13 % der Edelstahlküretten durch neue Instrumente ersetzt werden und 5 % der kryogen vergüteten Küretten. Aufgrund der längeren und breiteren Arbeitsteile der Küretten des Herstellers C blieben diese länger einsetzbar ohne Verlust der funktionellen Form. Mit Porto für den Versand zum Schleifservice belaufen sich die geschätzten Kosten für eine Edelstahlkürette des Herstellers C auf 106,81 € für 20 klinische Einsätze und für eine kryogen vergütete Kürette auf 107,46 €.

Kaufpreis pro doppelendiger Kürette	Kostenaufwand je Kürette für Schärfen und Schleifen innerhalb von 10 Einsätzen (inkl. Porto für Hin- und Rückversand)	Aufwand je Kürette für Nachkäufe innerhalb von 10 Einsätzen	Geschätzter Aufwand für Nachkäufe für weitere 10 Einsätze	Geschätzte Ausgaben für 20 klinische Einsätze für eine Kürette
Hersteller A, Edelstahl*	57,00 € (5,2 Schleifprozesse)	2,85 € (1 Nachkauf bei 20 Instrumenten)	28,50 € (10 Nachkäufe bei 20 Instrumenten)	148,57 €
Hersteller A, TiN-beschichtet*	85,56 € -	49,53 € (11 Nachkäufe bei 19 Instrumenten)	27,09 € (6 Nachkäufe bei 19 Instrumenten)	162,18 €
Hersteller B, Edelstahl***	59,50 € (5,1 Schleifprozesse)	11,90 € (2 Nachkäufe bei 10 Instrumenten)	35,70 € (6 Nachkäufe bei 10 Instrumenten)	166,16 €
Hersteller C, Edelstahl***	52,48 € (4,1 Schleifprozesse)	-	6,85 € (3 Nachkäufe bei 23 Instrumenten)	106,81 €
Hersteller C, kryogen vergütet***	57,12 € (4,1 Schleifprozesse)	-	2,86 € (1 Nachkauf bei 20 Instrumenten)	107,46 €

Tabelle 19: Abschätzung der Kosten einer Kürette mit Einbeziehung der anfallenden Kosten für Schleifprozesse innerhalb der ersten zehn Instrumenteneinsätze sowie Abschätzung des notwendigen Nachkaufs von Instrumenten für weitere zehn Einsätze. Die Anzahl der Schleifprozesse wurde multipliziert mit 5,79 € (5,30 € für Schärfen und Schleifen pro doppelendigem Instrument: 4,45 € zzgl. 19 % MwSt., exemplarisch aus der Preislise des Schleifservices Platzek-Dental aus dem Jahr 2014. Als Porto wurde jeweils für den Hin- und Rückversand zum Schleifservice pro Kürette 0,49 € berechnet: zweimaliger Versand von 20 Instrumenten zu je 4,90 €). Bei der geschätzten Anzahl von Nachkäufen von TiN-beschichteten Instrumenten für weitere zehn Einsätze wurden auch alle nach zehn Einsätzen „leicht stumpfen“ Küretten einbezogen. Alle Kaufpreise inkl. 19 % MwSt.: *loser.de (30.12.2015), **adsystems.de (30.12.2015), ***shop.nwd.de (30.12.2015)

4.2 Auswertung des standardisierten Versuchs

Tabelle 20 zeigt, nach wie vielen Arbeitszügen mit einer Länge von 5 mm die Schneidekanten der Küretten unterschiedlicher Hersteller nicht mehr einsatzfähig waren. Die Mittelwerte sind mit Standardabweichungen angegeben.

	Anzahl der Arbeitszüge		
	Erste visuelle Abnutzungserscheinungen	Erste mechanische Abnutzungserscheinungen	Stumpf (nicht mehr einsatzfähig)
Hersteller A, Edelstahl	8,8 ± 2,5	17,5 ± 2,9	111,3 ± 6,3
Hersteller A, TiN-beschichtet	11,3 ± 2,5	97,5 ± 48,6	678,8 ± 231,4
Hersteller B, Edelstahl	7,5 ± 2,9	23,8 ± 2,5	48,8 ± 4,8
Hersteller C, Edelstahl	10,0 ± 0	20,0 ± 4,1	117,5 ± 5,0
Hersteller C, kryogen vergütet	25,0 ± 4,1	32,5 ± 2,9	192,5 ± 9,6
Hersteller D, Edelstahl	5,0 ± 0	11,3 ± 4,8	81,3 ± 7,5
Hersteller E, Edelstahl	5,0 ± 0	5,0 ± 0	26,3 ± 2,5
Hersteller F, kryogen vergütet	10,0 ± 4,1	16,3 ± 7,5	86,3 ± 6,3

Tabelle 20: Anzahl der Arbeitszüge bis die Schneidekanten erste Abnutzungserscheinungen aufwiesen bzw. derart stumpf waren, dass sie nicht mehr zum Wurzelscaling verwendet werden konnten. Mittelwerte mit Standardabweichung, N=4, N ist die Anzahl der eingesetzten Schneidekanten pro Kürettenmarke.

Die ersten mit dem bloßen Auge erkennbaren Lichtreflexionen an den Schneidekanten wurden bei den Küretten der Hersteller D und E bereits nach $5,0 \pm 0$ Arbeitszügen festgestellt, bei den Küretten des Herstellers B nach durchschnittlich $7,5 \pm 2,9$ Arbeitszügen. Die Edelstahlküretten des Herstellers A hielten hier im Schnitt $8,8 \pm 2,5$ Arbeitszügen stand, die Edelstahlküretten des Herstellers C $10,0 \pm 0$ und kryogen vergüteten Küretten des Herstellers F $10,0 \pm 4,1$ Arbeitszügen. Bei den TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A zeigten sich minimale sichtbare Abnutzungserscheinungen nach durchschnittlich $11,3 \pm 2,5$ Arbeitszügen, während die kryogen vergüteten Küretten des Herstellers C durchschnittlich $25,0 \pm 4,1$ Arbeitszüge ohne jede Beeinträchtigung der Schneidekanten durchhielten.

Mit Auftreten der ersten sichtbaren Lichtreflexionen an der Schneidekante wurden nach $5,0 \pm 0$ Arbeitszügen bei den Edelstahlküretten des Herstellers E ebenfalls die ersten Beeinträchtigungen der mechanischen Griffigkeit am Plastikteststäbchen festgestellt. Die Edelstahlküretten der Hersteller A, B, C und D sowie die kryogen vergüteten Exemplare des Herstellers F hielten zwischen $11,3 \pm 4,8$ und $23,8 \pm 2,5$ Arbeitszügen stand. Bei den kryogen vergüteten Küretten des Herstellers C wurde ein Nachlassen der mechanischen Griffigkeit der Schneidekanten nach durchschnittlich $32,5 \pm 2,9$ Arbeitszügen beobachtet, während die TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A erst nach durchschnittlich $97,5 \pm 48,6$ Arbeitszügen eine erste mechanische Beeinträchtigung der Schneidekantenschärfe erkennen ließen.

Eine Abstumpfung der Schneidekante, die jedem weiteren Einsatz zur Wurzeloberflächenreinigung und –glättung entgegenstände, wurde bei den Edelstahlküretten des Herstellers E nach $26,3 \pm 2,5$ Arbeitszügen in der standardisierten Apparatur beobachtet. Die Edelstahlküretten des Herstellers B wiesen nach $48,8 \pm 4,8$ Arbeitszügen entsprechende visuelle und mechanische Beeinträchtigungen auf. Die Küretten der Hersteller D und F hielten $81,3 \pm 7,5$ bzw. $86,3 \pm 6,3$ Arbeitszügen stand. Bei den Edelstahlküretten der Hersteller A und C wurde eine starke Abstumpfung der Schneidekante nach durchschnittlich $111,3 \pm 6,3$ und $117,5 \pm 5,0$ Arbeitszügen dokumentiert. Die kryogen vergüteten Küretten des Herstellers C konnten $192,5 \pm 9,6$ Arbeitszüge lang eingesetzt werden. Den meisten Arbeitszügen hielten die TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A stand. Bei diesen Küretten wurde nach durchschnittlich $678,8 \pm 231,4$ Arbeitszügen eine Abstumpfung der Schneidekante dokumentiert, welche sie für den weiteren Einsatz unbrauchbar machte. In Diagramm 14 sind die Werte, nach welcher Anzahl von Arbeitszügen die Schneidekanten durchschnittlich als stumpf befunden wurden, graphisch dargestellt.

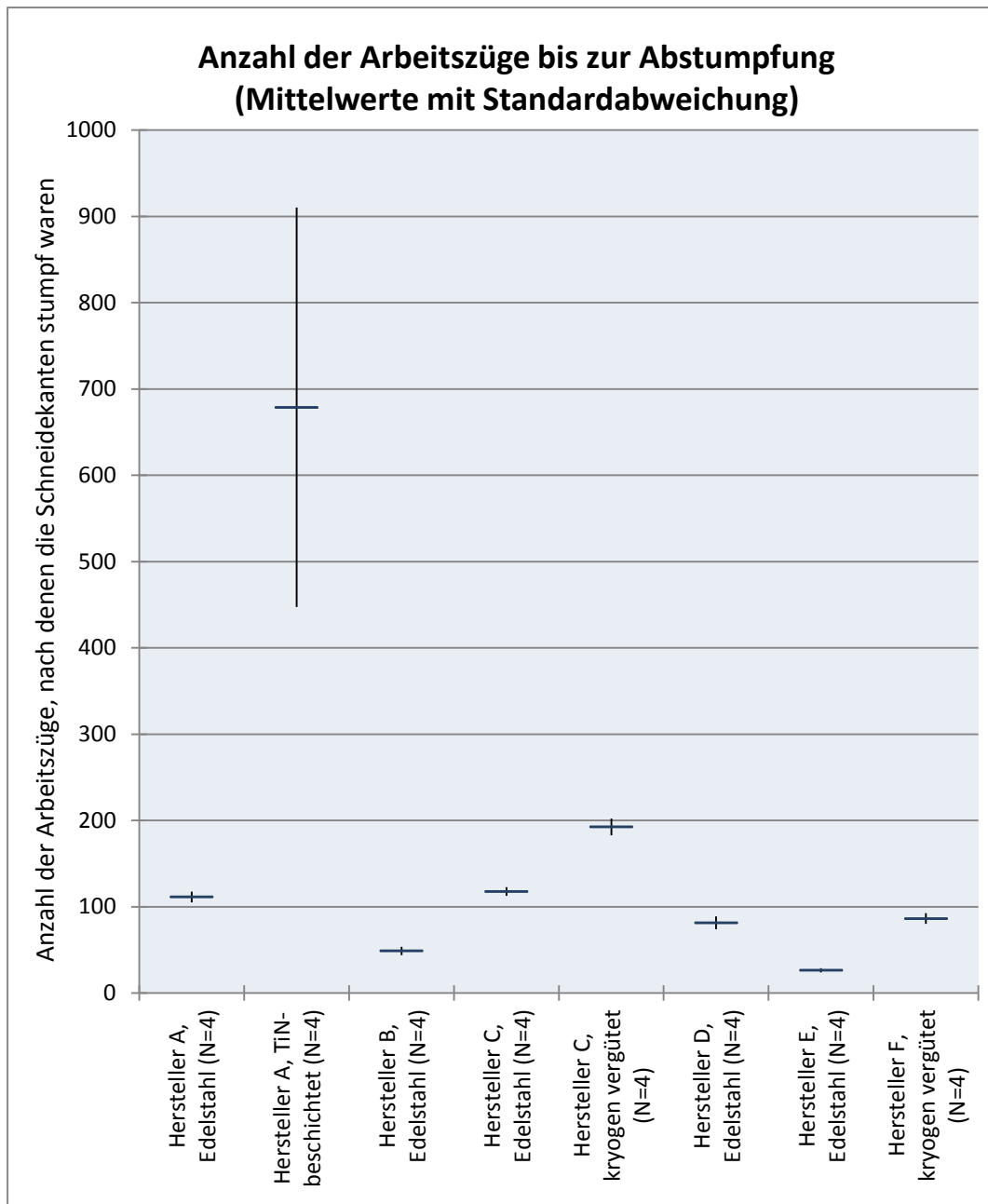


Diagramm 14: Darstellung der Werte aus Tabelle 20, nach welcher Anzahl von Arbeitszügen die Schneidekanten im standardisierten Versuch als „stumpf“ eingestuft wurden. Während die Edelstahlküretten der Hersteller A und C nahezu gleiche Werte liefern, erreichten die Edelstahlküretten von E bereits bei einem Bruchteil der Arbeitszüge eine massive Abstumpfung der Schneidekanten. Im Mittelfeld liegen die Küretten der Hersteller B, D und F. Die kryogen vergüteten Schneidekanten des Herstellers C hielten durchschnittlich $192,5 \pm 9,6$ Arbeitszügen stand, die TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A $678,8 \pm 231,4$ Arbeitszügen. Letztere können allerdings nicht geschliffen werden und sind nach dieser Anzahl an Arbeitszügen nicht weiter einsetzbar.

Die Abbildungen 26 bis 41 zeigen exemplarisch je eine Schneidekante der im standardisierten Versuch zum Einsatz gekommenen Küretten im fabrikneuen Zustand sowie nach Beendigung der Einzelversuche.



Abbildungen 26 und 27: Edelstahlschneidekante der Kürette Nr. 99 (Hersteller A) vor und nach der standardisierten Testung. Im Durchschnitt waren die Schneidekanten dieser Sorte nach $111,3 \pm 6,3$ Arbeitszügen stumpf.



Abbildungen 28 und 29: TiN-beschichtete Schneidekante der Kürette Nr. 101 (Hersteller A) vor und nach der standardisierten Testung. Im Durchschnitt waren die Schneidekanten dieser Sorte nach $678,8 \pm 231,4$ Arbeitszügen stumpf.



Abbildungen 30 und 31: Edelstahlschneidekante der Kürette Nr. 108 (Hersteller B) vor und nach der standardisierten Testung. Im Durchschnitt waren die Schneidekanten dieser Sorte nach $48,8 \pm 4,8$ Arbeitszügen stumpf.



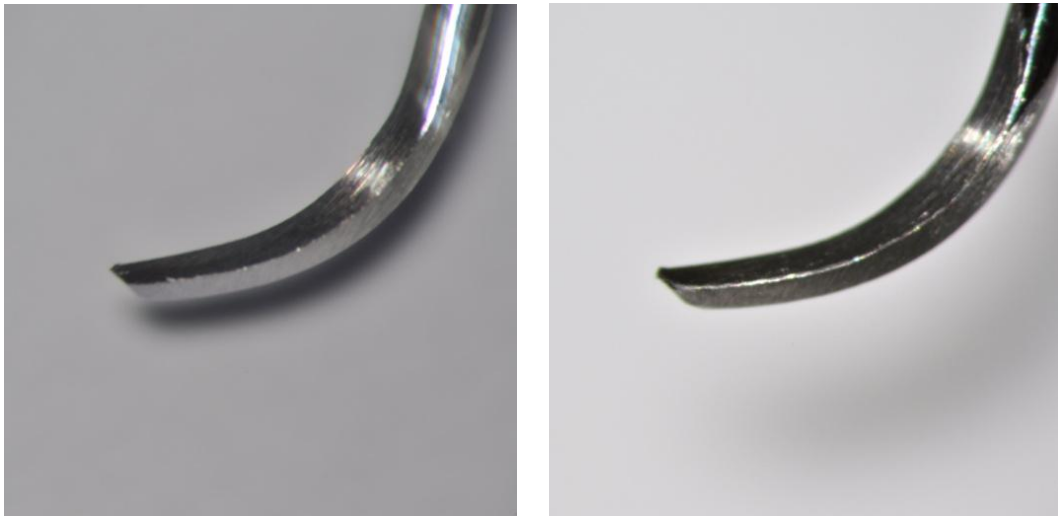
Abbildungen 32 und 33: Edelstahlschneidekante der Kürette Nr. 94 (Hersteller C) vor und nach der standardisierten Testung. Im Durchschnitt waren die Schneidekanten dieser Sorte nach $117,5 \pm 5,0$ Arbeitszügen stumpf.



Abbildungen 34 und 35: Kryogen vergütete Schneidekante der Kürette Nr. 96 (Hersteller C) vor und nach der standardisierten Testung. Im Durchschnitt waren die Schneidekanten dieser Sorte nach $192,5 \pm 9,6$ Arbeitszügen stumpf.



Abbildungen 36 und 37: Edelstahlschneidekante der Kürette Nr. 104 (Hersteller D) vor und nach der standardisierten Testung. Im Durchschnitt waren die Schneidekanten dieser Sorte nach $81,3 \pm 7,5$ Arbeitszügen stumpf.



Abbildungen 38 und 39: Edelstahlschneidekante der Kürette Nr. 106 (Hersteller E) vor und nach der standardisierten Testung. Im Durchschnitt waren die Schneidekanten dieser Sorte nach $26,3 \pm 2,5$ Arbeitszügen stumpf.



Abbildungen 40 bis 41: Kryogen vergütete Schneidekante der Kürette Nr. 102 (Hersteller F) vor und nach der standardisierten Testung. Im Durchschnitt waren die Schneidekanten dieser Sorte nach $86,3 \pm 6,3$ Arbeitszügen stumpf.

4.3 Zusammenfassende wirtschaftliche Betrachtung

Die TiN-beschichteten Schneidekanten wurden im standardisierten Versuch nach durchschnittlich $678,8 \pm 231,4$ Arbeitszügen stumpf und mussten dann ersetzt werden. Um einen Vergleich mit den anderen Küretten zu erhalten, wurde in Tabelle 21 eine Berechnung der Kosten für 680 Arbeitszüge aufgestellt. Aus der Haltbarkeit der schleifbaren Küretten im standardisierten Versuch wurde berechnet, wie oft diese geschliffen werden müssten, um 680 Arbeitszüge durchzuführen. Zusätzlich zum Kaufpreis fallen Kosten für Schleifprozesse an und zum Teil auch für Nachkäufe, wenn die Küretten bereits verschlissen sind. Hierzu wurden Werte aus der klinischen Studie herangezogen. Die fiktiven Gesamtkosten für 680 standardisierte Arbeitszüge betragen für die Edelstahlküretten des Herstellers A 109,42 €, für die Edelstahlküretten des Herstellers B 200,73 € und für die Edelstahlküretten des Herstellers C 91,31 €. Für die kryogen vergüteten Küretten des Herstellers C wurden 77,39 € berechnet und für die TiN-beschichteten Küretten des Herstellers A wurde für 680 Arbeitszüge allein der Kaufpreis von 85,56 € zum Vergleich herangezogen.

Da in dieser Berechnung die breite Streuung der TiN-beschichteten Küretten und deren notwendiger Ersatz nach durchschnittlich circa 680 Arbeitszügen nicht berücksichtigt wurden, ist in Tabelle 22 eine Berechnung der zu ersetzenden Instrumente für 1400 Arbeitszüge aufgestellt. Aus dem Schleifbedarf im klinischen und standardisierten Versuch wurde für die Edelstahlküretten sowie für die kryogen vergüteten Küretten berechnet, wie viele standardisierte Arbeitszüge den zehn klinischen Durchläufen entsprechen. Während für die Edelstahlküretten des Herstellers B in zehn klinischen Einsätzen 255 standardisierte Arbeitszüge mit einer lateralen Kraft von 3 Newton berechnet wurden, sind es bei den kryogen vergüteten Küretten 795. Dieser Unterschied spiegelt den vergleichsweise leichteren Einsatz der Küretten des Herstellers B wieder. Die anderen Küretten wurden doppelt so häufig bei konkrementbehafteten Wurzeloberflächen eingesetzt (Kapitel 4.1.5). In

Tabelle 22 wurde weiterhin unter Einbeziehung von Daten aus der klinischen Studie über Dreisatz berechnet, wie viele Küretten für 1400 standardisierte Arbeitszüge nachgekauft werden müssen, wenn anfangs 20 Küretten vorhanden sind. Fiktiv müssten 13 Edelstahlküretten und geschätzte 20 TiN-beschichtete Küretten des Herstellers A ersetzt werden. Im Vergleich müssten vier Edelstahlküretten und eine kryogen vergütete Kürette des Herstellers C für 1400 Arbeitszüge nachgekauft werden sowie 44 Edelstahlküretten des Herstellers B. Letztere müssten während 1400 standardisierten Arbeitszügen mit einer lateralen Kraftapplikation von 3 Newton mehrmals komplett ausgetauscht werden. Aufgrund der vergleichsweise hohen Anzahl zu ersetzender Instrumente während der klinischen Studie, wobei die zehn klinischen Einsätze vergleichsweise wenigen standardisierten Arbeitszügen entsprechen, entsteht diese Anzahl.

Um einen wirtschaftlichen Gesamteindruck zu erhalten, sind in Tabelle 23 die Kosten für 1400 standardisierte Arbeitszüge aufgestellt, wenn jeweils 20 Küretten der einzelnen Marken zur Verfügung stehen sollen. Zu den Erwerbskosten summieren sich sowohl Kosten für notwendige Nachkäufe als auch zum Teil für Schleifprozesse. Die fiktiven Gesamtkosten für die Edelstahlküretten des Herstellers A betragen 3386,40 € und für die TiN-beschichteten Küretten 3422,40 €. Für die Edelstahlküretten des Herstellers C wurden 2644,49 € berechnet und für die kryogen vergüteten Küretten dieses Herstellers 2033,54 €. Aufgrund der hohen Anzahl notwendiger Nachkäufe belaufen sich die fiktiven Kosten für die Edelstahlküretten des Herstellers B auf 7050,40 €.

	Kaufpreis pro doppelendiger Kurette (Erhebung online am 30.12.2015)	Haltbarkeit (Arbeitszüge, standardisierter Versuch)	Anzahl der Schleifprozesse für vergleichbare 680 Arbeitszüge	Geschätzte Kosten wenn Kurretten zum Schleifservice gesendet werden (5,79 € je Kurette je Schleifprozess)	Anteilige Kosten pro Kurette für Nachkäufe innerhalb von 680 Arbeitszügen (berechnet analog zu Tabelle 22)	Fiktive Gesamtkosten für 680 Arbeitszüge
Hersteller A, Edelstahl*	57,00 €	111	6,1	35,32 €	6 von 20 17,10 €	109,42 €
Hersteller A, TiN-beschichtet*	85,56 €	680	-	-	-	85,56 €
Hersteller B, Edelstahl**	59,50 €	50	13,6	78,75 €	21 von 20 62,48 €	200,73 €
Hersteller C, Edelstahl***	52,48 €	118	5,8	33,58 €	2 von 20 5,25 €	91,31 €
Hersteller C, kryogen vergütet***	57,12 €	193	3,5	20,27 €	-	77,39 €

Tabelle 21: Kostenschätzung bezogen auf 680 Arbeitszüge, bis die TiN-beschichtete Kurretten wegen der Wertung „stumpf“ ersetzt werden müssen. Alle Kaufpreise inkl. 19 % MwSt.: *loser.de (30.12.2015), **adsystems.de (30.12.2015), ***shop.nwd.de (30.12.2015)

	Schleifbedarf für 680 Arbeitszüge (aus standardisiertem Versuch)	Schleifbedarf – Vergleichsdaten aus der klinischen Studie mit 10 Einsätzen	10 klinische Einsätze entsprechen x standardisierten Arbeitszügen (durch unterschiedliche Intensitäten, Druck im klinischen Einsatz etc. entstehen verschiedene Werte)	Anzahl der zu ersetzenden Instrumente für 20 Einsätze in vivo (Werte aus klinischer Studie – Tabelle 19 umgerechnet auf 20 Küretten)	Anzahl der notwendigen Nachkäufe für 1400 Arbeitszüge bei anfangs 20 Küretten (in vitro)
Hersteller A, Edelstahl*	6,1	5,2	580	11	13
Hersteller A, TiN-beschichtet*	-	-	-	17	20
Hersteller B, Edelstahl**	13,6	5,1+++	255	16 ⁺⁺	44 ⁺⁺
Hersteller C, Edelstahl***	5,8	4,1	480	3	4
Hersteller C, kryogen vergütet****	3,5	4,1	795	1	1

Tabelle 22: Berechnung der zu ersetzenden Instrumente für 1400 Arbeitszüge im Vergleich der klinischen Studie zur in-vitro-Studie. Aus dem Schleifbedarf im klinischen und standardisierten Einsatz wurde über Dreisatz berechnet, wie viele standardisierte Arbeitszüge den zehn klinischen Einsätzen der vorliegenden klinischen Studie entsprechen. Durch unterschiedliche Intensitäten, Anpressdrücke etc. entstehen unterschiedliche Werte. Wiederum über Dreisatz wurde berechnet, wie viele Instrumente für insgesamt 1400 standardisierte Arbeitszüge nachgekauft werden müssen. **: Die hohe Anzahl der zu ersetzenden Küretten des Herstellers B entsteht durch die vergleichsweise niedrige Anzahl standardisierter Arbeitszüge, welche den zehn klinischen Einsätzen entsprechen. Die klinische Studie ergab, dass 8 von 10 Küretten ausgetauscht werden müssen. Hochgerechnet auf 20 Küretten müssen 16 Instrumente ausgetauscht werden. Für 1400 Arbeitszüge in vitro wurden 44 notwendige Nachkäufe berechnet. Die in-vivo- und in-vitro-Daten stimmen bei den anderen Kürettenmarken gut überein, nur bei den Küretten des Herstellers B ergibt sich eine große Abweichung. +++: Im klinischen Teil wurden die Küretten des Herstellers B vergleichsweise leicht und nur selten bei konkretentbehafteten Wurzeloberflächen eingesetzt, wodurch sich mutmaßlich ein geringerer Verschleiß ergab (Kapitel 4.1.5). Unter standardisierten Bedingungen ergaben sich daher ein höherer Schleifbedarf sowie eine höhere Anzahl notwendiger Nachkäufe. Alle Kaufpreise inkl. 19 % MwSt.: *loser.de (30.12.2015), **adsystems.de (30.12.2015), ***shop.nwd.de (30.12.2015)

	Erwerbskosten für 20 Küretten	Anzahl der zu ersetzenden Instrumente für 1400 Arbeitszüge (aus Tabelle 22)	Kosten für Nachkäufe für 1400 Arbeitszüge	Schleifhäufigkeit für 1400 Arbeitszüge (aus standardisiertem Versuch – Tabelle 22, umgerechnet auf 1400 Arbeitszüge)	Geschätzte Kosten, wenn 20 Küretten zum Schleifservice gesendet werden (5,79 € je Kürette) für 1400 Arbeitszüge	Fiktive Gesamtkosten für 1400 Arbeitszüge mit 20 Küretten
Hersteller A, Edelstahl*	1140,00 €	13	741 €	12,6	1459,08 €	3340,08 €
Hersteller A, TiN-beschichtet*	1711,20 €	20	1711,20 €	-	-	3422,40 €
Hersteller B, Edelstahl**	1190,00 €	44	2618 €	28	3242,40 €	7050,40 €
Hersteller C, Edelstahl***	1049,60 €	4	209,92 €	11,9	1378,02 €	2637,54 €
Hersteller C, kryogen vergütet***	1142,40 €	1	57,12 €	7,2	833,76 €	2033,28 €

Tabelle 23: Kostenschätzung bezogen auf 1400 Arbeitszüge, wenn alle TiN-beschichtete Küretten einmal ersetzt wurden. In der klinischen Studie waren nach 10 klinischen Einsätzen 89,5 % aller TiN-beschichteten Küretten auszutauschen, weil diese stumpf waren. Es wurden deshalb zwanzig Einsätze angenommen und interpoliert, dass dann angesichts der Streuung alle TiN Küretten stumpf sind und vollständig zu ersetzen sind. Für die Küretten der Hersteller B, C sowie die Edelstahlküretten des Herstellers A wurden hier die berechneten Werte aus Tabelle 22 herangezogen. Für die Küretten der Hersteller D, E und F konnten analog keine Gesamtkosten geschätzt werden, da außer den Daten des standardisierten Versuchs hier keine Daten zum klinischen Verschleiß durch wiederholte Schleifprozesse und damit keine Daten zu notwendigen Nachkäufen vorlagen. Alle Kaufpreise inkl. 19 % MwSt.: *loser.de (30.12.2015), **adsystems.de (30.12.2015), ***shop.nwd.de (30.12.2015)

5 Diskussion

5.1 Studiendesign

5.1.1 Anmerkungen zur klinischen Studie

Zur Nutzbarkeit neuartiger Küretten sind fast ausschließlich nur Angaben der Hersteller auffindbar. Diese stellten sich bei genauerer Nachforschung zum Teil als nicht nachvollziehbar oder nur unzureichend wissenschaftlich gestützt dar.

Sisera et al. (2009) verglichen im in-vitro-Versuch Küretten mit beschichteten und kältebehandelten Schneidekanten und untersuchten, ob es durch Stumpfwerden der Küretten zu einem verringerten Substanzabtrag von Wurzeloberflächen nach 1010 Arbeitszügen kam. Es wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Substanzabtrages und im Verschleißverhalten zwischen den neuartigen Küretten und einer Kontrollkürette aus Edelstahl gefunden. Jedoch wurde durch die hygienische Aufbereitung mit Sterilisation eine feststellbare Abstumpfung der Schneidekanten gefunden.

Planung der klinischen Studie

In der vorliegenden Studie wurden die TiN-beschichteten und kryogen vergüteten Küretten erstmals experimentell im klinischen Einsatz miteinander und mit üblichen Edelstahlküretten verglichen. Um mit möglichst vielen Küretten eine große Anzahl an Durchläufen zu erreichen, wurden die Instrumente in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des Klinikums der Universität München durch Kandidatinnen der ZMF-Schule, Zahnmedizinische Fachangestellte während der Ausbildung zur Dentalhygienikerin und von Kandidaten der Zahnmedizin im Staatsexamen in der Parodontitistherapie eingesetzt.

Faktorstufenkombinationen und Einflussvariablen

Im Fall der klinischen Versuchsreihe stellte jede der fünf Kürettenmarken einen zu untersuchenden Faktor dar. Als zu untersuchende Stufen können die unterschiedlichen Intensitäten des Küretteneinsatzes, abhängig von der individuellen Ausprägung der Parodontalerkrankung der Patienten, aufgefasst werden.

Ziel der klinischen Studie war es, den Verschleiß der neuartigen und herkömmlichen Küretten im klinischen Alltag zu vergleichen, weshalb das Modell der Faktorstufenkombinationen vereinfacht wurde. Die Küretten wurden zufällig und ohne Kenntnis des Patientenbefundes zu Beginn der jeweiligen Therapiesitzung an die verschiedenen Behandler ausgeteilt. Erst nach dem Einsatz der Küretten wurde notiert, ob subgingivale Konkreme vorhanden waren oder das Handinstrument nur wenig intensiv eingesetzt wurde. Auch die Dauer des Instrumenteneinsatzes wurde festgehalten. Erst in der Auswertung wurde die Intensität des Küretteneinsatzes mit den Ergebnissen der Schärfetestung des jeweiligen Instruments verglichen.

Eine genauere Einteilung der Faktorstufenkombinationen war in dieser Studie nicht durchführbar. So weisen an Parodontitis erkrankte Patienten Unterschiede in der Ausprägung der parodontalen Erkrankung auf. Auch muss zwischen Patienten in der Initialtherapie und Patienten in der unterstützenden Parodontitistherapie (UPT) unterschieden werden. Letztere haben meist keine Konkreme mehr. Während im Staatsexamen die meisten Patienten einer Initialtherapie unterzogen wurden und Konkreme aufwiesen, wurden die Testküretten während den Schulungen für Dentalhygienikerinnen und der ZMF-Schule auch zur unterstützenden Parodontitistherapie an Recall-Patienten eingesetzt.

Um den Aufwand gering zu halten, wurden die Küretten nach dem Zufallsprinzip zur parodontalen Behandlung ausgegeben. Über die Häufigkeit des klinischen Einsatzes wurde angenommen, dass sich einzelne intensive und weniger intensive Einsätze nivellieren. Über die

Einteilung in einen starken, normalen oder geringen Einsatz der Küretten sowie die Dauer des Einsatzes zur Wurzeloberflächenreinigung wurde versucht, im Zusammenhang mit dem visuell und mechanisch bestimmten Verschleiß eine Aussage über die unterschiedliche Abnutzung der Kürettenschneidekanten zu treffen.

Untersuchungsmethoden

Die grobe Einteilung der Einflussfaktoren (leichte oder mittlere oder starke Beanspruchung, Dauer 10 bis 14 oder 14 bis 16 Minuten oder 16 bis 20 Minuten) stellt eine stark vereinfachte Abstufung der unterschiedlichen Bedingungen am Patienten dar, da eine genaue Analyse der parodontalen Voraussetzungen jedes Patienten den Rahmen dieser Studie überschritten hätte. Nicht alle Einflüsse, welche die Schneidekantenschärfe maßgeblich reduzieren können, konnten deshalb genau erfasst werden. So wurden zum Beispiel bei einer „starken Beanspruchung“ zwar vorhandene Konkrementen, nicht aber Restaurationsränder berücksichtigt. Diese können auch zu Defekten an der Schneidekante führen (Benfenati et al. 1987).

Die Einflussfaktoren wurden jeweils pro Kürette dokumentiert, während die Schneidekanten einzeln auf ihre Schärfe hin untersucht wurden. Eine genaue Feststellung, welche der beiden Schneidekanten einer Kürette wie lange und wie intensiv eingesetzt wurde, konnte ebenfalls nicht erfasst werden.

Auch wurde der Einsatz der Mesial- und Distalküretten nicht weiter differenziert. Da Zappa et al. (1993) für Mesialküretten höhere Kräfte beim Scaling und Wurzelglättung als für Distalküretten fanden, könnte es an den Schneidekanten von Mesialküretten zu einem stärkeren Verschleiß kommen.

Für die genaue Einteilung in die definierten Schärfegrade wurden die Schneidekanten unter dem Operationsmikroskop OPMI® PROergo (Zeiss) betrachtet. Dabei wurde die maximale (20-fache) Vergrößerung eingestellt. Um einer Verfälschung der Ergebnisse vorzubeugen, wurden

die Küretten bewegungsfrei in eine Löthilfe eingespannt und die gesamte Beurteilung und Dokumentation der Schneidekantenschärfe von einer einzelnen Person durchgeführt. Die mechanisch-taktile Überprüfung der Schärfe mittels Plastikteststäbchen wurde von einer unterwiesenen und trainierten Person durchgeführt, um möglichst reproduzierbare Bewertungen zu erzielen. Die Ausrichtung der Schneidekante für die fotografische Dokumentation oblag auch immer derselben Person, wodurch ein Vergleich der Fotografien ermöglicht wurde. Variationen zwischen einer 15-fachen und 20-fachen Vergrößerung für die Fotografien begründen sich dadurch, dass einige größere Schneidekanten bei maximaler Vergrößerung nicht mehr in den Begrenzungen des Fotos lagen.

Die Nachbearbeitung der Fotografien mithilfe des PC-Programms Adobe Photoshop Elements 9 diente allein dazu, die Beleuchtung anzupassen und den Bildausschnitt zu vereinheitlichen, um die Schneidekanten besser betrachten und vergleichen zu können. Die Exaktheit der Bilder und die Nachvollziehbarkeit der Einteilung in die drei Schärfegrade blieben dabei unangetastet.

Das Schärfen und Schleifen der als „stumpf“ oder „leicht stumpf“ eingestuften Kürettenschneidekanten wurde nach der Dokumentation durch einen Zahnarzt mit langjähriger Erfahrung in der Parodontologie durchgeführt. Als Schleifmittel wurde dabei stets ein flacher Arkansas-Handschleifstein und Schleiföl benutzt. Nach visueller Kontrolle der wiederhergestellten Schärfe wurde die Kürette aufbereitet, eingefolt und sterilisiert, um erneut am Patienten eingesetzt werden zu können.

5.1.2 Anmerkungen zum standardisierten Versuch

Im Gegensatz zur klinischen Studie konnten im standardisierten Versuch die Einflussgrößen im Vorfeld bestimmt und damit die gleichen Versuchsbedingungen für jede Kürette geschaffen werden. Mittels definiertem Kraftaufwand und Arbeitszügen einer definierten Länge über die Zahnwurzeln extrahierter Zähne wurden die Abnutzungs-

erscheinungen der Schneidekanten aller Küretten unter Laborbedingungen künstlich herbeigeführt. Durch diese Eckdaten ist die Reproduzierbarkeit der Versuche gegeben. Im Gegensatz zur klinischen Versuchsreihe wurden deshalb aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und weil die Ergebnisse überwiegend sehr geringe Streuungen zeigten, nur zwei doppelendige Küretten jeder Marke der klinischen Versuchsreihe sowie Küretten von drei weiteren Herstellern untersucht.

Bei den Titannitrid-beschichteten Küretten wurde wie in der klinischen Studie auch im standardisierten Versuch eine größere Streuung gefunden bis die Schneidekanten stumpf wurden: So konnten 460, 515, 790 und bei einer Schneidekante 950 Arbeitszügen gemacht werden, bis das Teststäbchen nicht mehr griff. Es ergab sich eine Standardabweichung von $\pm 231,4$ Arbeitszügen.

5.2 Frühere Studien im Vergleich

Die in der klinischen Versuchsreihe untersuchten Küretten des Herstellers B wurden, wenn festhaftende Konkrementen entfernt werden mussten, seltener als andere Kürettenmarken eingesetzt. Aus diesem Grund wurden die Küretten aus der statistischen Bewertung ausgeschlossen, um eine Verzerrung zu vermeiden. Es wurden nur die gewonnenen Daten dargestellt. Viele der Behandler waren die Handhabung der anderen Küretten gewohnt und griffen bei Konkrementen lieber auf ihr eigenes Instrumentarium zurück. Die gewohnte Handhabung eines bekannten Instruments beeinflusst die Qualität der Wurzelreinigung positiv (Graetz et al. 2014), was sich durch das Verhalten der Behandler in der vorliegenden Studie indirekt bestätigt, da diese in der Kurs- bzw. Prüfungssituation das bestmögliche Ergebnis erreichen wollten.

Im Gegensatz zur in-vitro-Studie von Sisera et al. (2009), in der kein relevanter Verlust der Effektivität der Schneidekanten neuartiger und herkömmlicher Küretten nach 1010 Arbeitszügen gefunden wurde, zeigten sich im vorliegenden standardisierten Versuch bereits nach nur

26,3 ± 2,5 (Hersteller E, Edelstahl) und maximal 678,8 ± 231,4 Arbeitszügen (Hersteller A, TiN-beschichtet) relevante Abnutzungserscheinungen an den Schneidekanten. Die ersten zehn Arbeitszüge wurden in der Studie von Sisera et al. (2009) mit einem Druck von ca. 2,5 Newton (250 ± 50 g), die folgenden Arbeitszüge mit einem Druck von ca. 4,9 Newton (500 ± 50 g) ausgeführt und der Substanzabtrag der Wurzeloberfläche gemessen. Die im vorliegenden Versuch ausgeführten Arbeitszüge an der standardisierten Apparatur mit einer gleichbleibenden Druckkraft von 3 Newton führte bei allen getesteten Küretten zu einer relevanten Abstumpfung der Schneidekanten bereits vor Erreichen von 1010 Arbeitszügen, durch welche nach klinischen Parametern die weitere Behandlung stark beeinträchtigt würde.

Bei einer durchschnittlichen Abstumpfung einer Schneidekante, welche daraufhin geschliffen werden muss, beträgt die Breite der entstandenen „dritten Fläche“ zwischen Fazial- und Lateralfäche nach einer Berechnung von Balevi (1996) 30 µm. In der vom finnischen Hersteller LM in Auftrag gegebenen Studie von Helle (2006) betrug die Breite der Abnutzungsfläche nach 225 Arbeitszügen mit einer Druckkraft von bis zu 7,4 Newton zwischen 17,6 (LM, kryogen vergütet) und 23,0 µm (American Eagle, TiN-beschichtet). Im vorliegenden standardisierten Versuch wurde die Breite der Abnutzung der Schneidekanten nicht ausgemessen, sondern nach den in der zahnärztlichen Praxis gängigen Methoden bestimmt. Hierzu zählt die visuelle Überprüfung und mechanisch-taktile Kontrolle mittels Plastikteststäbchen. Nach 86,3 ± 6,3 Arbeitszügen wurden bei den kryogen vergüteten Küretten des Herstellers F relevante Abnutzungserscheinungen gefunden, so dass das Teststäbchen nicht mehr griff und vor weiterer Benutzung ein Schleifprozess nötig wäre.

Die Angaben des Herstellers American Eagle zu den TiN-beschichteten Küretten enthalten Ergebnisse einer Abnutzungsstudie von Gorokhovsky et al. (2006 b). So maßen Gorokhovsky et al. (2006 b) eine 3,4 µm breite Abnutzung an der Schneidekante der TiN-beschichteten Küretten nach 5000 Arbeitszügen, wobei in dem in-vitro-Versuch 20 mm

lange Arbeitszüge mit einem Gewicht von 120 g (dies entspricht ca. 1,2 Newton) ausgeübt wurden. Zappa et al. (1993) ermittelten beim Scaling Druckkräfte von 3,81 bis 7,56 Newton bei Zahnärzten und 3,66 bis 6,95 Newton bei Dentalhygienikerinnen. Auch wurde berichtet, dass mit der Mesialkürette 11/12 ein höherer Druck von Zahnärzten sowie von Dentalhygienikerinnen, als mit der Distalkürette 13/14 ausgeübt wurde. In der vorliegenden Studie wurde im standardisierten Versuch ein gleicher Druck von 3 Newton auf die Schneidekante ausgeübt. Der Arbeitszug wurde mit 5 mm Länge an die klinische Realität angepasst. In dieser in-vitro-Studie wurden TiN-beschichteten Schneidekanten nach durchschnittlich $678,8 \pm 231,4$ Arbeitszügen als „stumpf“ eingestuft.

Für den klinischen Einsatz gaben Gorokhovsky et al. (2006 b) an, dass die TiN-beschichteten Küretten durchschnittlich drei bis sechs Monate, in Einzelfällen bis zu elf Monaten halten würden. Jedoch beschrieben sie die klinischen Bedingungen nicht. In der vorliegenden klinischen Studie bestätigte sich jedoch die lange Nutzung der TiN-beschichteten Küretten nicht: Nach durchschnittlich $7,8 \pm 2,1$ Einsätzen zur Parodontitistherapie hätten 63,2 % der TiN-beschichteten Schneidekanten ersetzt werden müssen. Gorokhovsky et al. (2006 b) räumten ein: *“The performance of the instruments in clinical practice shows more variability than under laboratory conditions”*. Im Weiteren gaben Gorokhovsky et al. (2006 b) an, dass ein früher Verschleiß der TiN-beschichteten Instrumente durch unsachgemäßen Gebrauch und durch Verformung des unter der Beschichtung liegenden Metalls bedingt sei.

Goodman (2006) hat den Gebrauch der TiN-beschichteten Instrumente beschränkt: Für eine lange Haltbarkeit solle ausschließlich subgingival mit den Küretten gereinigt werden, Konkrementen dürfen nur mit leichtem Druck entfernt und nicht mit großen Druck durchbrochen werden und der Kontakt der Schneidekante mit Restaurationsrändern solle gänzlich vermieden werden.

Dies würde dazu führen, dass sich die Kürette bei einer üblichen Parodontitisbehandlung mit der Entfernung von harten Konkrementen

verformt und die Beschichtung abplatzt, weshalb TiN-beschichtete Küretten in unserem klinischen Versuch schneller stumpf wurden. Dies würde bedeuten, dass die TiN-beschichteten Küretten besser ausschließlich für die UPT eingesetzt werden sollten und nicht in der Initialtherapie. Aber auch herkömmliche Küretten werden in der UPT weniger verschlissen, müssen weniger häufig und stark geschliffen werden und halten deshalb auch länger. Seitens des Herstellers A wird keine Einschränkung im Gebrauch der TiN-beschichteten Küretten erteilt. Aus der klinischen Erfahrung müssen übliche Edelstahlküretten, die in der UPT eingesetzt werden, je nach Parodontalsituation, manchmal gar nicht und andere Male nur wenig, aber trotzdem fast immer geschärft werden. Wenn die Daten des Stumpfwerdens der üblichen Küretten der Hersteller A und C aus den in-vitro-Versuchen auf die TiN-beschichteten Küretten übertragen werden, so können TiN-beschichtete Küretten circa sechs Mal länger eingesetzt werden als die Edelstahlküretten, die darüber hinaus viele weitere Male geschärft werden können, indes die TiN-beschichteten Küretten bereits mehrmals ersetzt werden müssten. Eine durch Gorokhovskiy et al. (2006 b) dargestellte Steigerung der Haltbarkeit von TiN-beschichteten Küretten auf das über Zehnfache konnte im hier durchgeführten standardisierten Versuch nur im Vergleich zu den Edelstahlküretten der Hersteller E (um das 26-fache) und B (um das 14-fache) gezeigt werden.

5.3 Ist der höhere Preis gerechtfertigt?

1985 stellten Tal et al. fest, dass trotz des Angebots von Küretten aus verschleißfesteren Materialien in den meisten zahnärztlichen Praxen herkömmliche Edelstahlküretten eingesetzt werden (Tal et al. 1985). Auch bei den heute erhältlichen neuartigen Küretten ist es fraglich, ob sie die Edelstahlküretten ablösen können. In die Kalkulation des Zahnarztes müssen nicht nur die Anschaffungskosten einer Kürette, sondern auch laufende Kosten für anfallende Schleifprozesse sowie der Nachkauf von verschlissenen Instrumenten eingehen. Viele Zahnärzte stellen sich die

Frage, ob die neuartigen Küretten tatsächlich so langlebig und verschleißfest sind, wie von den Herstellern angepriesen und ob der Mehrpreis durch einen verringerten oder gar entfallenen Schleifprozess aufgewogen wird. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bieten einen Anhaltspunkt für die Abschätzung, wie häufig eine Kürette geschärft und geschliffen werden muss. Aus den Ergebnissen der klinischen Versuchsreihe können darüber hinaus auch Erkenntnisse über die Langlebigkeit und den notwendigen Nachkauf von Gracey-Küretten abgeleitet werden. Beides muss der Zahnarzt in Relation zum Kaufpreis setzen, um sich für eine Kürettenmarke zu entscheiden.

Küretten sind Verschleißteile

Bei der Wurzelreinigung und –glättung werden mit den scharfen Schneidekanten der Küretten Konkrement und Auflagerungen von den Wurzeloberflächen entfernt. Dabei nutzen sich Edelstahlküretten zwangsläufig ab und müssen nach jedem Einsatz geschärft werden. Pattison und Pattison (1992) empfehlen, die Küretten schon bei der geringsten Abnutzungserscheinung zu schleifen, da stark abgestumpfte Schneidekanten kaum mehr in das ursprüngliche Design zu überführen sind.

Da das Schärfen und Schleifen der Küretten mit abrasiven Materialien erfolgt, um eine grazile und definierte Form der Schneidekanten zu erhalten, geht dies auch immer mit dem Verlust einer geringen Metallmenge einher. Je stumpfer ein Instrument ist, desto mehr Substanz muss für die Wiederherstellung des korrekten Winkels an der Schneidekante abgetragen werden (Balevi 1996). Nach mehrfachem Einsatz am Patienten und dem erforderlichen Schärfen verliert die Schneidekante sichtbar immer mehr an Substanz, so dass die ursprüngliche funktionale Form bald nicht mehr herzustellen ist. Die Edelstahlkürette ist somit ein Verschleißteil, welches bei starker Minimierung des Arbeitsteils nicht mehr eingesetzt werden kann. Auch

nimmt die Frakturgefahr zu, weshalb die Kürette durch ein neues Instrument ersetzt werden muss (Carranza 1990).

Idealerweise wird beim Schärfe und Schleifen nur ein minimaler Metallanteil abgetragen. Balevi (1996) berechnete, dass bei einem durchschnittlichen Schleifvorgang minimal 5,21 μm Material von der Lateralfäche der Kürette abgetragen werden müssen. Unter Berücksichtigung einer Abstumpfung an der Schneidekante von 30 μm Breite (Balevi 1996) ergeben sich bei einer Breite des Arbeitsteiles von 0,88 mm (Mittelwert der Küretten der Hersteller A und C) 84,5 Einsätze mit jeweiligem Schärfe, bis die Hälfte der Breite des Arbeitsteiles abgetragen wurde und die Kürette nicht mehr einsatzfähig ist.

In der klinischen Versuchsreihe wurden einige Arbeitsenden schon sehr viel früher als nicht mehr einsetzbar eingeschätzt. Besonders ausgeprägt erschien der Verschleiß durch wiederholte Einsätze am Patienten und dem erforderlichen Schleifen bei den Edelstahlküretten des Herstellers B. Nach durchschnittlich $5,1 \pm 1,4$ von 10 klinischen Einsätzen, also nach jedem zweiten Einsatz, mussten die Küretten geschärft werden. Aufgrund ihrer zierlichen Größe wiesen 15 % der Arbeitsenden dieser Marke nach Beendung der klinischen Studie einen so starken Substanzverlust auf, dass sie nicht weiter eingesetzt werden konnten. Weitere 60 % der Schneidekanten waren stark reduziert, weshalb sie nur mehr ein bis zwei Mal klinisch eingesetzt werden können. Bei den Edelstahlküretten des Herstellers A wurde am Ende der klinischen Versuchsreihe (nach durchschnittlich $5,2 \pm 1,5$ Schleifprozessen) geschätzt, dass 50 % der Schneidekanten nur für weitere ein bis fünf Einsätze am Patienten eingesetzt werden können, bis sie ersetzt werden müssen. Eine der Edelstahlschneidekanten des Herstellers A wurde innerhalb der klinischen Versuchsreihe, nach dreimaligem Schärfe und Schleifen, als nicht weiter einsetzbar befunden. Bei den Edelstahlküretten des Herstellers C wurden nach den klinischen Versuchen drei Schneidekanten als eingeschränkt weiter nutzbar befunden (weitere ein bis fünf Einsätze). Bei den kryogen

vergüteten Schneidekanten dieses Herstellers war dies bei einer Schneidekante der Fall.

Bezüglich der Titannitrid-beschichteten Küretten liefert die Studie ein ambivalentes Ergebnis. Einerseits zeigte der durchgeführte standardisierte Versuch eine höhere Anzahl an möglichen Arbeitszügen, bis die Schneidekanten als „stumpf“ eingestuft wurden. Die TiN-beschichteten Küretten erreichten die 26-fache Anzahl an Arbeitszügen im Vergleich zu den Edelstahlküretten mit der niedrigsten Anzahl (Hersteller E) und die 3,5-fache Anzahl im Vergleich zu den kryogen vergüteten Küretten des Herstellers C. Allerdings mussten während der klinischen Versuchsreihe mit geplanten zehn Einsätzen bereits elf Instrumente herausgenommen werden, da die Schneidekanten als stumpf bewertet wurden und nicht geschärft werden konnten. Im Vergleich wurden nur wenige der unbeschichteten Küretten (eine Schneidekante der Edelstahlküretten des Herstellers A, zwei Schneidekanten der Edelstahlküretten des Herstellers B) während der zehn Durchläufe der klinischen Studie für verschlissen befunden.

Überlegungen zum Zeit- und Kostenaufwand für Schleifprozesse

Das wiederholt notwendige Schärfen und Schleifen herkömmlicher Küretten ist zeitaufwendig und teuer. In der Praxis muss dafür geschultes Personal vorhanden sein, um die funktionale Form der Arbeitsenden wieder herzustellen, damit beim nächsten Patienten eine suffiziente Parodontaltherapie erfolgen kann. Schulungen für zahnärztliches Personal werden von Herstellern und von den Fortbildungsakademien der Landeszahnärztekammern sowie zahnärztlichen Bezirksverbänden angeboten und kosten etwa 215 € (eazf 2015).

Eine geschulte ZFA benötigt für das Schärfen und Schleifen einer doppelendigen Kürette (experimentell ermittelte Daten durch jeweiliges Stoppen der Zeit pro Kürette) etwa 60 bis 180 Sekunden, für die der Zahnarzt als Arbeitsgeber Lohnkosten und Arbeitskosten zu tragen hat.

Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, das Schärfen und Schleifen stumpfer Parodontalinstrumente einem professionellen Schleifservice zu überlassen. Hierzu werden die hygienisch aufbereiteten Küretten meist per Post an einen Schleifservice gesandt. Für das Schleifen doppelendiger Küretten verlangt beispielsweise das Schleifstudio Platzeck-Dental in Elsterberg aktuell 4,45 € je Instrument, zuzüglich der gesetzlichen Mehrwertsteuer und einer Verpackungs- und Portopauschale von 4,90 € je Einsendung. Die Rücksendung erfolgt nach zwei bis drei Werktagen (Platzeck-Dental 2014). Für die Praxis bedeutet dies, dass die Instrumente während dieser Zeit nicht für die Parodontalbehandlung zur Verfügung stehen, weshalb unter Umständen mehr Instrumente gekauft werden müssen, als beim Schärfen und Schleifen der Küretten durch Praxispersonal. Auf Grundlage der aktuellen Preistabelle des Schleifstudios Platzeck-Dental und der Ergebnisse der klinischen Studie wurde abgeschätzt, dass für wiederholte Schleifprozesse während der ersten zehn Einsätze einer Kürette zwischen 23,74 € (Edelstahl- sowie kryogen vergütete Küretten des Herstellers C) und 30,11 € (Edelstahlküretten des Herstellers A) anfallen, welche der Zahnarzt zusätzlich zu den Anschaffungskosten für die jeweilige Kürette einberechnen muss.

Kleinere Schleifstudios bieten das Schärfen und Schleifen der Küretten etwas günstiger an. Beispielsweise verlangt das „Paro-Schleifstudio“ Kaufbeuren 3,20 Euro pro doppelendiger Kürette und ein Schleifservice in Brückeberg nur 3,10 Euro, jeweils zuzüglich Versandkosten. Die Mehrwertsteuer entfällt hier aufgrund der Kleinunternehmerregelung gemäß § 19 UStG (Paro-Schleifstudio 2010, Schleifservice Ilona Könnemann 2015).

5.4 Fazit

Wirtschaftliche Überlegungen zur Anschaffung von Küretten sind nicht nur in der zahnärztlichen Praxis von Bedeutung. In einer Lehrereinrichtung wie der Zahnklinik des Klinikums der Universität München ist bei einer

Kaufempfehlung für das studentische Instrumentarium zu bedenken, dass Studenten meist noch keinerlei Erfahrung im Schärfen und Schleifen von Küretten haben. Die Schneidekanten sollen möglichst lange scharf bleiben, um eine suffiziente Therapie der Patienten zu garantieren. Spezielle Herstellungsprozesse wie die Beschichtung mit Titannitrid, welche die Langlebigkeit der Instrumente steigern sollen, so dass sie nie geschliffen werden müssen, wecken deshalb besonderes Interesse.

Die Langlebigkeit der TiN-beschichteten Küretten konnte in dieser Studie allerdings nur bedingt nachgewiesen werden. Sowohl in der klinischen Versuchsreihe als auch im standardisierten Versuch zeigten diese neuartigen Küretten keine einheitlich längere Haltbarkeit im Vergleich zu herkömmlichen Instrumenten. Auch müssen die Küretten nach dem Verlust der Beschichtung an der Schneidekante durch neue Instrumente ersetzt werden, da sie nicht geschärft und geschliffen werden können. So werden zwar die Kosten und der Zeitaufwand für Schleifprozesse eingespart, auf längere Zeit gesehen muss aber mit einem erhöhten Kostenaufwand für Nachkäufe gerechnet werden.

Durch die Abschätzung der notwendigen Nachkäufe nach zehnmalem Einsatz der Küretten am Patienten konnten in der vorliegenden Studie die beschichteten Instrumente mit den schleifbaren Küretten (Edelstahlküretten, kryogen vergütete Küretten) verglichen werden. Aus den Daten dieser Studie lässt sich für die untersuchten Küretten jedoch nicht sicher vorhersagen, wann die letzte Schneidekante verschlissen ist. Hierzu müsste man 30, 40 oder noch mehr Einsätze zur Parodontitistherapie verfolgen, da viele Küretten durch wiederholtes Schärfen und Schleifen lange Zeit einsatzfähig bleiben. Indes gibt es Küretten mit zierlichen Arbeitsteilen (beispielsweise die Edelstahlküretten der Hersteller A und B), bei denen aufgrund des Verschleißes eine geringere Einsatzhäufigkeit gegeben ist. Die starke Beanspruchung der Schneidekante durch vorhandene Konkrementen in der Initialtherapie geht mit einer stärkeren Abnutzung der Schneidekante einher, wodurch auch beim Schleifprozess mehr Substanz verloren geht (Balevi 1996) und die

Küretten bald nicht mehr in eine funktionale Form gebracht werden können. Diese Küretten sollten besser ausschließlich in der UPT eingesetzt werden. Durch die graziler gestalteten Arbeitsteile gelingt gleichzeitig ein leichter Zugang zu schmalen Zahnfleischtaschen mit einer geringeren Gefahr eines Gewebetraumas.

Die Küretten des Herstellers C haben im Neukaufzustand als Standardform längere Arbeitsteile als manche Fabrikate anderer Hersteller. Die Küretten können deshalb für die Verwendung in der Initialtherapie empfohlen werden. Da die Arbeitsteile durch mehrfache Schleifprozesse letztlich auch graziler werden, kann es sinnvoll sein, fabrikneue Küretten mit größeren Arbeitsteilen für die Initialtherapie einzusetzen, während für die UPT auf bereits mehrfach eingesetzte und durch Abnutzungsprozesse verkleinerte (geschärfte) Küretten zurückgegriffen wird.

Schneidekanten, die nur einer geringen Anzahl an Arbeitszügen standhalten, in der Studie beispielsweise die Küretten des Herstellers E, müssen unter Umständen sogar mehrmals während der Behandlung in der Parodontitistherapie geschliffen werden. Um dies zu vermeiden, lohnt sich die Anschaffung etwas teurerer Instrumente.

5.5 Ausblick

In früheren Studien zu den angewandten Druckkräften wurde festgestellt, dass Zahnärzte bei der Verwendung von Küretten durchschnittlich etwas höhere laterale Kräfte anwenden als Dentalhygienikerinnen (Zappa et al. 1991 a, 1993). Im Vergleich mit unerfahrenen Behandlern stellten Dong et al. (2007) fest, dass erfahrene Zahnärzte die über den Daumen applizierte Kraft effektiver an die Instrumentenspitze übertragen können. Eine Alternative zum klinischen Einsatz mit unerfahrenen Behandlern, wie in dieser Studie, stellt somit der Einsatz der Testküretten am Patienten durch Zahnärzte oder Dentalhygienikerinnen mit langjähriger Berufserfahrung dar.

Um genauere Aussagen über den Verschleiß der Schneidekanten zu erhalten, müssten einmal die parodontalen Bedingungen sehr ähnlich sein, wie auch die Behandler die Kürette mit eher gleichem Druck einsetzen und diese auch nur eine bestimmte Zeit nutzen. Klinisch ist es sehr schwer und aufwändig, gleiche Bedingungen zu erhalten. Am ehesten lassen sich ähnliche Sondierungstiefen finden. Jedoch sind Konkreme in unterschiedlichem Ausmaß vorhanden und entfernbar. Während einige Konkreme eher einfach zu entfernen sind, sind andere sehr fest mit dem Zement verbunden. Es gibt einzelne Konkreme und Konkreme die zirkulär um den Zahn herum verlaufen. Es müsste ferner festgesetzt werden, ob nur distale Flächen oder auch mesiale Flächen in die Untersuchung einbezogen werden, da an mesialen Flächen die Wurzeloberflächenreinigung mit einer höheren Kraft erfolgt (Zappe et al. 1993), was an Mesialküretten zu einem stärkeren Verschleiß führen könnte. Auch müssten Zähne mit Restaurations- oder Kronenrändern explizit ausgeschlossen werden. Die Küretten müssten dann den ausgewählten Wurzeloberflächen zugestellt werden.

In der vorliegenden Studie wurde erstmals experimentell ein klinischer Vergleich der verschiedenen Kürettenmarken durchgeführt, weshalb zu Beginn – auch aus organisatorischen Gründen – ein Limit von zehn Durchläufen festgelegt wurde. Eine weitere Möglichkeit der Testung bestünde darin, die Küretten jeweils solange einzusetzen, bis die Arbeitsenden durch den klinischen Einsatz und dem erforderlichen Schärfen und Schleifen nicht mehr zum Scaling und zur Wurzelglättung eingesetzt werden können und diese Anzahl der Durchläufe zu vergleichen. Zugleich würde dadurch eine einfachere Gegenüberstellung mit den beschichteten Küretten ermöglicht, da diese nicht geschliffen werden können.

Um die Standardabweichungen anzugleichen, müssten Studien mit einer deutlich höheren Anzahl von Küretten durchgeführt werden, was aber entsprechend mit höheren Kosten durch den Erwerb der Küretten und einer höheren Anzahl der Behandlungen verbunden ist.

Die standardisierte Testung wurde mit einer Kraft von drei Newton auf die Schneidekante durchgeführt. Um auf die unterschiedlichen lateralen Kräfte durch unterschiedliche Behandler einzugehen, könnten die in-vitro-Versuche auch mit verschiedenen Gewichten zur Erzeugung von beispielweise vier, fünf oder sechs Newton durchgeführt werden. Da mit diesen Gewichten bzw. Druckkräften eine Arbeitsbewegung der Küretten mit der in dieser Studie konstruierten Apparatur nur schwer durchgeführt werden konnte, müsste die Fassung des Hebelarms dafür stabilisiert werden, um ungewollte Seitwärtsbewegungen desselben zu vermeiden.

Eine Beeinflussung der Schneidekantenschärfe durch wiederholte Sterilisationsprozesse wurde bislang kontrovers diskutiert. Gorokhovskiy et al. (2006 b) fanden in rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen keine Beeinflussung der TiN-beschichteten Schneidekanten durch wiederholte Sterilisationsprozesse. In der Studie durchlief eine TiN-beschichtete Kürette 215 Reinigungs- und Sterilisationsprozesse. Im Gegensatz dazu fanden Sisera et al. (2009) eine nachlassende Schneidekanteneffizienz durch wiederholte Desinfektion und Sterilisation. In ihrer Studie durchliefen 36 Küretten fünfmal ein 30 minütiges Bad in Desinfektionslösung, sowie anschließende Thermodesinfektion und Sterilisation. Bei den im Anschluss durchgeführten standardisierten Arbeitszügen wurde ein um 0,3 bis 0,5 μm verringerter Substanzabtrag ermittelt.

Die hier durchgeführte klinische Studie untersuchte ein mögliches Abstumpfen von Schneidekanten durch die für den Einsatz am Patienten notwendigen hygienischen Aufbereitungsprozesse nicht. Jedoch blieben Küretten wiederholt nach dem Einsatz am Patienten und der damit verbundenen hygienischen Aufbereitung scharf. Vier TiN-beschichtete Schneidekanten blieben auch nach allen zehn klinischen Durchläufen scharf, allerdings waren bei ihnen kleinste Abnutzungserscheinungen unter dem Lichtmikroskop sichtbar. Ob der klinische Einsatz am Patienten oder die Aufbereitung und Sterilisation der Instrumente in diesem Fall der Ursprung dieser Abnutzung war, kann nicht

geklärt werden, da die Küretten nicht explizit vor dem Einsatz am Patienten auf Abnutzungspuren durch den Aufbereitungsprozess untersucht wurden. Jedoch scheint der Verschleiß der Schneidekanten durch Aufbereitungsprozesse sehr gering zu sein und ist angesichts des Verschleißes der Schneidekanten durch Konkremententfernung und Restaurationsränder und dem erforderlichen Schärfen und Schleifen von untergeordneter Bedeutung.

6 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob Küretten mit Beschichtung oder einer speziellen Härtung entsprechend den Werbeaussagen der Hersteller verschleißfester als herkömmliche Edelstahlküretten sind. Die Studie unterteilte sich in eine klinische Versuchsreihe an Patienten und einem standardisierten in-vitro-Versuch. Getestet wurden im klinischen Einsatz kryogen vergütete Küretten sowie Küretten, deren Arbeitsteile mit Titannitrid (TiN) beschichtet sind. Letztere können nicht geschärft werden.

Die TiN-beschichteten Schneidekanten zeigten im klinischen Versuch keine einheitlich lange Haltbarkeit. Innerhalb des zehnmaligen Einsatzes am Patienten blieben die Schneidekanten im Durchschnitt in $4,8 \pm 2,4$ Einsätzen scharf. Nur vier der getesteten 38 Schneidekanten waren auch nach dem zehnten klinischen Einsatz noch scharf und damit weiter einsatzfähig. Übliche Edelstahlküretten des gleichen Herstellers blieben in $4,8 \pm 1,5$ von zehn Einsätzen am Patienten scharf und mussten dann geschärft werden. Die kryogen vergüteten Schneidekanten blieben im Durchschnitt in $5,9 \pm 1,6$ von zehn klinischen Einsätzen und übliche Edelstahlküretten dieses Herstellers in $5,9 \pm 1,4$ Einsätzen scharf.

Im in-vitro Versuch mit einer Druckkraft von 3 Newton auf extrahierten Zähnen wurden die TiN-beschichteten Küretten nach $678,8 \pm 231,4$ standardisierten Arbeitszügen stumpf. Die beiden kryogen vergüteten Kürettenmarken waren nach $192,5 \pm 9,6$ bzw. nach $86,3 \pm 6,3$ Arbeitszügen stumpf. Edelstahlküretten verschiedener Hersteller wurden nach $26,3 \pm 2,5$ bis $117,5 \pm 5,0$ Arbeitszügen stumpf.

Bezogen auf die Erwerbskosten, die Abnutzung und die Notwendigkeit die Küretten zu schärfen, sind kryogen vergütete Küretten interessant, da sie über eine lange Nutzungsdauer verfügen, weniger häufig geschärft werden müssen und damit länger eingesetzt werden können.

Die TiN-beschichteten Küretten sind teurer in der Anschaffung und kommen, hochgerechnet auf 20 Patienteneinsätze, fast doppelt so teuer wie übliche Küretten (berechnet aus Daten der klinischen Studie). Bezogen auf die hohe Anzahl durchführbarer Arbeitszüge im standardisierten Test sind die TiN-beschichteten Küretten vergleichsweise nur etwas teurer. Die TiN-beschichteten Küretten zeigten sowohl in der klinischen Studie wie auch unter Laborbedingungen hohe Abweichungen. Während einzelne Schneidekanten bereits früh verschlissen, hielten andere Schneidekanten sehr viel länger.

7 Literaturverzeichnis

1. **Aleo** JJ, De Renzis AF, Farber PA: In vitro attachment of human gingival fibroblasts to root surfaces. J Periodontol 46: 639-645 (1975)
2. **Alves** RV, Machion L, Casati MZ, Nociti Jr FH, Sallum EA, Sallum AW: Clinical attachment loss produced by curettes and ultrasonic scalers. J Clin Periodontol 32: 691-694 (2005)
3. **American Dental Systems**. Unter adsystems.de vom 30.12.2015 (2015)
4. **American Eagle**, Loser & Co.: Instrumentenkunde. Ein Leitfaden für PA-Instrumente. Leverkusen (2012)
5. **Andrade Acevedo** RA, Cézar Sampaio JE, Shibli JA: Scanning electron microscope assessment of several resharpeneing techniques on the cutting edges of gracey curettes. J Contemp Dent Pract 8: 70-77 (2007)
6. **Antonini** CJ, Brady JM, Levin MP, Wilfredo LG: Scanning electron microscope study of scalers. J Periodontol 48: 45-48 (1977)
7. **Armitage** GC. Development of a classification system for periodontal diseases and conditions. American Academy of Periodontitis (AAP): Ann Periodontol 4: 1-6 (1999)
8. **Armitage** GC: Periodontal diagnoses and classification of periodontal diseases. Periodontol 2000 34: 9-21 (2004)
9. **Badersten** A, Nilvéus R, Egelberg J: Effect of nonsurgical periodontal therapy. I. Moderately advanced periodontitis. J Clin Periodontol 8: 57-72 (1981)
10. **Balevi** B: Engineering specifics of the periodontal curet's cutting edge. J Periodontol 67: 374-378 (1996)
11. **Bear** PN: The case for periodontosis as a clinical entity. J Periodontol 42: 516-520 (1971)
12. **Beikler** T, Karch H, Flemmig TF: Adjuvante Antibiotika in der Parodontitistherapie, Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK und DGP aus dem Jahr 2003 unter http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Adjuvante_Antibiotika_in_der_Parodontitistherapie.pdf vom 02.04.2015 (2003)

13. **Benfenati** MP, Montesani MT, Benfenati SP, Nathanson D: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen parodontal erkrankter, instrumentierter Wurzeloberflächen. Ein Vergleich zwischen scharfen, stumpfen und beschädigten Küretten sowie Ultraschallinstrumenten. *Int J Par Rest Zahnheilkunde* 2: 51-67 (1987)
14. **Berns** H, Theisen W: Eisenwerkstoffe. S. 4-198, Springer Verlag, Berlin (2008)
15. **Bower** RC: Furcation morphology relative to periodontal treatment. Furcation root surface anatomy. *J Periodontol* 50: 366-374 (1979)
16. **Breininger** DR, O'Leary TJ, Blumenshine RVH: Comparative effectiveness of ultrasonic and hand scaling for the removal of subgingival plaque and calculus. *J Periodontol* 58: 9-18 (1987)
17. **Butler** JH: A familial pattern of juvenile periodontitis (periodontosis). *J Periodontol* 40: 115-118 (1969)
18. **Carranza** FA: Glickman's clinical periodontology. Seventh Edition. S. 109-125, 149-165, 209-258, 293-301, 461-473, 555-562, 715-721, WB Saunders Company, Philadelphia (1990)
19. **Chandler** H: Hardness Testing. Second Edition. ASM International (1999)
20. **Christersson** LA, Slots J, Rosling BG, Genco RJ: Microbiological and clinical effects of surgical treatment of localized juvenile periodontitis. *J Clin Periodontol* 12: 465-476 (1985)
21. **Dahl** N, Lou DC, Akselsen OM, Onsøien MI: Smart pastes for improvement of wear resistance of metals. In: Fischer A, Bobzin K: Friction, wear and wear protection. S. 660-666, Weinheim (2009)
22. **Deutsche Gesellschaft für Parodontologie** (DGP): PSI – der parodontale Screening Index. Broschüre. GABA GmbH (2005)
23. **Dong** H, Loomer P, Villanueva A, Rempel D: Pinch forces and instrument tip forces during periodontal scaling. *J Periodontol* 78: 97-103 (2007)
24. **dos Santos** KM, Pinto SC, Pochapski MT, Wambier DS, Pilatti GL, Santos FA: Molar furcation entrance and its relation to the width of curette blades used in periodontal mechanical therapy. *Int J Dent Hyg* 7: 263-9 (2009)
25. **Drisko** CH: Root instrumentation. Power-driven versus manual scalers, which one? *Dent Clin North Am* 42: 229-244 (1998)

26. **Drisko** CL, Cochran DL, Blieden T, Bouwsma OJ, Cohen RE, Damoulis P, Fine JB, Greenstein G, Hinrichs J, Somerman MJ, Iacono V, Genco RJ: American Academy of Periodontitis (AAP): Position paper: sonic and ultrasonic scalers in periodontics. Research, Science and Therapy Committee of the American Academy of Periodontology. J Periodontol 71: 1792-1801 (2000 a)
27. **Drisko** CH: Trends in surgical and nonsurgical periodontal treatment. JADA 131: 31S-38S (2000 b)
28. **Eazf**: Fortbildungsprogramm 2015 Zahnärztliches Personal, unter <http://zwp-online.info/epaper/pub/5451e9ca579e5/#/138> vom 15.04.15 (2015)
29. **Eberhardt** J, Jervøe-Strom P-M, Needleman I, Worthington H, Jepsen S: Full-mouth treatment concepts for chronic periodontitis: a systematic review. J Clin Periodontol 35: 591-604 (2008)
30. **Eickholz** P: Parodontologie von A bis Z. Grundlagen für die Praxis. S. 193-199, Quintessenz Verlag, Berlin (2013)
31. **Ewen** SJ, Gwinnett AJ: A scanning electron microscope study of the teeth following periodontal instrumentation. J Periodontol 48: 92-97 (1977)
32. **Flemmig** TF, Petersilka GJ, Mehl A, Rüdiger S, Hickel R, Klaiber B: Working parameters of a sonic scaler influencing root substance removal in vitro. Clin Oral Invest 1: 55-60 (1997)
33. **Flemmig** TF, Petersilka GJ, Mehl A, Hickel R, Klaiber B: The effect of working parameters on root substance removal using a piezoelectric ultrasonic scaler in vitro. J Clin Periodontol 25: 158-163 (1998 a)
34. **Flemmig** TF, Petersilka GJ, Mehl A, Hickel R, Klaiber B: Working parameters of a magnetostrictive ultrasonic scaler influencing root substance removal in vitro. J Periodontol 69: 547-553 (1998 b)
35. **Gagnot** G, Poblete MG, Michel JF: Vergleichsstudie von Hand- und Ultraschallinstrumenten auf Wurzeloberflächen: Der Einfluss des lateralen Drucks. Int J Paro Rest ZHK 2: 131-139 (2004)
36. **Goldman** HM, Cohen DW: Periodontal therapy. Fifth Edition. S. 65-93, 167-177, 197-235, 381-426, 875-961, The CV Mosby Company, St. Louis (1973)
37. **Goodman** R: The wonder of science: Can a new curette or scaler really make a difference in your practice? DT Asia Pacific 4: 28 (2006)

38. **Gorokhovsky** V, Heckerman B, Browne T: Advanced surface engineering technology for endodontic instruments and related applications. *Roots* 2: 40-50 (2006 a)
39. **Gorokhovsky** V, Heckerman B, Watson P, Bekesch N: The effect of multilayer filtered arc coatings on mechanical properties, corrosion resistance and performance of periodontal dental instruments. *Surface and coatings technology* 200: 5614-5630 (2006 b)
40. **GOZ-Position 1040** in: Abrechnungsschlüssel für die Zahnarztpraxis. Leitfaden durch die Kassenabrechnung BEMA 2004 mit Querverweisen zur Gebührenordnung für Zahnärzte und Ärzte GOZ und GOÄ. Dröge Verlag (2012)
41. **Graetz** C, Schwendicke F, Plaumann A, Rauschenbach S, Springer C, Kahl M, Sälzer S, Dörfer CE: Subgingival instrumentation to remove simulated plaque in vitro: influence of operators' experience and type of instrument. *Clin Oral Invest Online-Publikation* unter <http://link.springer.com/article/10.1007/s00784-014-1319-x> 04.01.2015 (2014)
42. **Green** E, Ramfjord SP: Tooth roughness after subgingival root planning. *J Periodontol* 37: 396-399 (1966)
43. **Helle** A: Wear testing of curettes. Research report VTT-R-08967-06 vom 10.04.12 unter http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/SKMBT_C65008012210060.pdf (2006)
44. **Herrmann** K: Hardness testing. Principles and applications. ASM International (2011)
45. **Heubner** U: Merkblatt 821, Edelstahl Rostfrei – Eigenschaften. 5. Auflage. Informationsstelle Edelstahl Rostfrei. Broschüre aus dem Jahr 2014 unter www.edelstahl-rostfrei.de/downloads/iser/MB_821.pdf vom 20.01.16 (2014)
46. **Horning** MG, Cohen ME: Necrotizing ulcerative gingivitis, periodontitis, and stomatitis: clinical staging and predisposing factors. *J Periodontol* 66: 990-998 (1995)
47. **Hu-Friedy**: Gracey curette sharpening - It's about time - vom 03.02.2010 unter: <http://www.youtube.com/watch?v=PNW7UzVh0Kw> (2010)
48. **Hu-Friedy**: Korrektes Schärfen von Scalern und Küretten von 2012, Broschüre unter http://deutsch.hu-friedy.de/fileadmin/brochure/korrektes_schaerfen_d.pdf vom 26.12.2012 (2012 a)

49. **Hu-Friedy**: Scaler und Küretten in EverEdge® Technology unter „Innovationen“, <http://deutsch.hu-friedy.de/index.php?id=97>, vom 10.04.12 (2012 b)
50. **Janner A**: Schwingungsverhalten verschiedener Schall- und Ultraschallansätze und Empfehlungen für die klinische Anwendung am Patienten. (edoc.ub.uni-muenchen.de/1534/1/Janner_Andrea.pdf) vom 20.01.2015, Med Diss München (2003)
51. **Jeffcoat MK**, McGuire M, Newman MH: Evidence-based periodontal treatment. Highlights from the 1996 World Workshop in Periodontics. JADA 128: 713-724 (1997)
52. **Jones SJ**, Lozdan J, Boyde A: Tooth surfaces treated in situ with periodontal instruments. S.E.M. studies. Br Dent J 132: 57-64 (1972)
53. **Kaspar J**, Brenner B, Luft A, Tietz F, Bretschneider J: Enhanced wear resistance of precipitation hardening steels by laser solution annealing and subsequent aging treatment. In: Fischer A, Bobzin K: Friction, Wear and Wear Protection. S. 654-659, Weinheim (2009)
54. **Kato K**: Wear in relation to friction – a review. Wear 241: 151-157 (2000)
55. **Kelkar R**, Nash P, Zhu Y: Understanding the effects of cryogenic treatment on M2 steel properties. Heat Treating Progress 7: 57-60 (2007)
56. **Kenney EB**, Kraal JH, Saxe SR, Jones J: The effect of cigarette smoke on human oral polymorphonuclear leukocytes. J Periodont Res 12: 227-234 (1977)
57. **Lang NP**, Tan WC, Krähenmann MA, Zwahlen M: A systematic review of the effects of full-mouth debridement with and without antiseptics in patients with chronic periodontitis. J Clin Periodontol 35 (Suppl. 8): 8-21 (2008)
58. **Lataś Z**, Ciski A: Cryogenic treatment and combination of nitriding and cryogenic treatment of hot forging tools. 4th WSEAS Int Conf on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment. S. 133-139, Elounda, Griechenland (2006)
59. **LM**: LM-DuraGradeMAX, Broschüre unter http://www.lm-dental.com/sites/lminstruments.com/files/materials/duragrademax_en_flat.pdf, 26.02.13 (2013)
60. **Löe H**, Theilande E, Jensen SB: Experimental gingivitis in man. J Periodontol 36: 177-187 (1965)

61. **Loser & Co.:** Küretten. XP-Instrumente unter [https://www.loser.de/index.php?app_cmd=showPage¶m\[page\]=catalog¶m\[event\]=system¶m\[system_id\]=ZZZ0303](https://www.loser.de/index.php?app_cmd=showPage¶m[page]=catalog¶m[event]=system¶m[system_id]=ZZZ0303), 06.11.2013 (2013)
62. **Loser & Co.:** loser.de am 31.12.2015 (2015)
63. **Marsh P, Martin MV:** Orale Mikrobiologie. S. 39-65, 67-93, 122-147, Stuttgart (2003)
64. **Mattox DM:** Handbook of physical vapor deposition (PVD). S. 29-59, Noyes Publications, Westwood, New Jersey (1998)
65. **Nakib NM, Bissada NF, Simmelink JW, Goldstine SN:** Endotoxin penetration into root cementum of periodontally healthy and diseased human teeth. J Periodontol 53: 368-378 (1982)
66. **Needleman I, Suvan J, Moles DR, Pimlot J:** A systematic review of professional mechanical plaque removal for prevention of periodontal diseases. J Clin Periodontol 32 (Suppl. 6): 229-282 (2005)
67. **Newman MG, Sanz M, Nisengard R:** Host-bacteria interactions in periodontal diseases. In: Carranza FA: Glickman's Clinical Periodontology. Seventh Edition. S. 372-386, WB Saunders Company, Philadelphia (1990)
68. **Nishimine D, O'Leary TJ:** Hand instrumentation versus ultrasonics in the removal of endotoxins from root surfaces. J Periodontol 50: 345-349 (1979)
69. **NWD Northwest Dental GmbH:** shop.nwd.de am 30.12.2015 (2015)
70. **Nyman S, Sarhed G, Ericsson I, Gottlow J, Karring T:** Role of "diseased" root cementum in healing following treatment of periodontal disease. An experimental study in the dog. J Periodont Res 21: 496-503 (1986)
71. **Nyman S, Westfelt E, Sarhed G, Karring T:** Role of "diseased" root cementum in healing following treatment of periodontal disease. A clinical study. J Clin Periodontol 15: 464-468 (1988)
72. **O'Leary TJ, Kafrawy AH:** Total cementum removal: A realistic objective? J Periodontol 54: 221-226 (1983)
73. **Palmer RM, Wilson RF, Hasan AS, Scott DA:** Mechanism of action of environmental factors – tobacco smoking. J Clin Periodontol 32 (Suppl. 6): 180-195 (2005)
74. **Pameijer CH, Stallard RE, Hiep N:** Surface characteristics of teeth following periodontal instrumentation. A SEM Study. J Periodontol 43: 628-633 (1972)

75. **Paquette** OE, Levin MP: The sharpening of scaling instruments: I. An examination of principles. J Periodontol 48: 163-172 (1977)
76. **Paro-Schleifstudio:** Schleifauftrag unter <http://www.küretten-schleifen.de/pdf/Preisliste-Schleifauftrag.pdf>, 31.01.15 (2010)
77. **Pattison** AM, Pattison G: Periodontal instrumentation. S. 15-16, 129-219, 288-300, Norwalk, Connecticut (1992)
78. **Petersilka** GJ, Flemmig TH: Schall- und Ultraschallscaler in der Parodontitistherapie. Wissenschaftliche Stellungnahme: Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde; Pdf aus dem Jahr 2005 unter http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Schall_und_Ultraschallscaler_in_der_Parodontitistherapie.pdf vom 23.01.15 (2005)
79. **Petersilka** GJ, Stypmann J: Die Verwendung von Ultraschallscalern bei Patienten mit Herzschrittmachern und implantierten Defibrillatoren. Gemeinsame Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Parodontologie (DG PARO) und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK); Pdf unter http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/WM_PA-Ultraschall.pdf vom 02.04.2015 (2015)
80. **Piippo** J, Elsener B, Böhni H: Electrochemical characterization of TiN coatings. Surface and coatings technology 61: 43-46 (1993)
81. **Platzeck-Dental:** Aufschleifen von Dentalinstrumenten. Preise unter <http://www.platzeck-dental.de/?Preisliste>, 31.01.15 (2014)
82. **Polzin** T: Hardness measurement of metals – static methods. In: Herrmann K: Hardness testing. Principles and applications. S. 25-66, ASM International (2011)
83. **Rabbani** GM, Ash MM, Caffesse RG: The effectiveness of subgingival scaling and root planing in calculus removal. J Periodontol 52: 119-123 (1981)
84. **Rote Abrechnungsmappe** unter <https://www.bema-goz.de/kommentar/leseproben/KCH-04.pdf> vom 24.03.2015 (2015)
85. **Ruben** MP, Schulman SM, Kon S: Healing of periodontal surgical wounds. In: Goldman HM, Cohen DW: Periodontal therapy. Fifth Edition. S. 875-961, The CV Mosby Company, St. Louis (1973)
86. **Rühling** A, König J, Rolf H, Kocher T, Schwahn C, Plagmann HC: Learning root debridement with curettes and power-driven instruments. Part II: Clinical results following mechanical, nonsurgical therapy. J Clin Periodontol 30: 611-615 (2003)

87. **Rühling** A, Schlemme H, König J, Kocher T, Schwahn C, Plagmann HC: Learning root debridement with curettes and power-driven instruments. Part I: A training program to increase effectivity. J Clin Periodontol 29: 622-629 (2002)
88. **Ruppert** M, Cadosch J, Guindy J, Case D, Zappa U: In vivo ultrasonic debridement forces in bicuspid: A pilot study. J Periodontol 73: 418-422 (2002)
89. **Ryder** MI, Nittayananta W, Coogan M, Greenspan D, Greenspan JS: Periodontal disease in HIV/ AIDS. Periodontol 2000 60:78-97 (2012)
90. **Sanderink** R, Weber C: Plaque. In: Sanderink R, Bernhardt H, Knoke M, Meyer J, Weber C, Weiger R: Curriculum orale Mikrobiologie und Immunologie. S. 301-314, Quintessenz Verlag, Berlin (2004)
91. **Sanderink** R: Das infizierte Parodont. In: Sanderink R, Bernhardt H, Knoke M, Meyer J, Weber C, Weiger R: Curriculum orale Mikrobiologie und Immunologie. S.170-193, 357-404, Quintessenz Verlag, Berlin (2004)
92. **Schleifservice** Ilona Könemann: Schleifauftrag unter <http://www.scaler-schleifen.de/wp-content/uploads/Einfuehrungsangebot.pdf> vom 31.01.15 (2015)
93. **Sherman** PR, Hutchens LH Jr, Jewson LG, Moriarty JM, Greco GW, McFall WT Jr: The effectiveness of subgingival scaling and root planning. I. Clinical detection of residual calculus. J Periodontol 61: 3-8 (1990 a)
94. **Sherman** PR, Hutchens LH Jr, Jewson LG: The effectiveness of subgingival scaling and root planing: II. Clinical responses related to residual calculus. J Periodontol 61: 9-15 (1990 b)
95. **Shklar** G: Periodontal disease in experimental animals subjected to chronic cold stress. J Periodontol 37: 377-383 (1966)
96. **Singh** LP, Singh J: Effects of cryogenic treatment on the cutting tool durability. IJDMT 3: 11-23 (2012)
97. **Sisera** M, Hofer DJ, Sener B, Attin T, Schmidlin PR: In vitro evaluation of three curettes with edge retention technology after extended use. Schweiz Monatsschr Zahnmed 119: 1200-1208 (2009)
98. **Smart** GJ, Wilson M, Davies EH, Kieser JB: The assessment of ultrasonic root surface debridement by determination of residual endotoxin levels. J Clin Periodontol 17: 174-178 (1990)

99. **Tal H**, Kozlovsky A, Green E, Gabbay M: Scanning electron microscope evaluation of wear of stainless steel and high carbon steel curettes. *J Periodontol* 60: 320-324 (1989)
100. **Tal H**, Panno JM, Vaidyanathan TK: Scanning electron microscope evaluation of wear of dental curettes during standardized root planning. *Periodontol* 56: 532-536 (1985)
101. **Tunkel J**, Heinecke A, Flemmig TF: A systematic review of efficacy of machine-driven and manual subgingival debridement in the treatment of chronic periodontitis. *J Clin Periodontol* 29 (Suppl. 3): 72-81 (2002)
102. **van Landingham MR**: Review of instrumented indentation. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 108: 249-265 (2003)
103. **Weber C**: Zahnstein. In: Sanderink R, Bernhardt H, Knoke M, Meyer J, Weber C, Weiger R: *Curriculum orale Mikrobiologie und Immunologie*. S. 316-319, Quintessenz Verlag, Berlin (2004)
104. **Weisheit A**, Wissenbach K: Graded layers for wear and corrosion protection produced by laser cladding. In: Fischer A, Bobzin K: *Friction, wear and wear protection*. S.117-123, Weinheim (2009)
105. **Wilson Instruments**: Fundamentals of rockwell hardness testing. Broschüre unter <http://people.emich.edu/rrhoton/MFG123/WEEK2/Rockwell%20Testers%20Brochure.pdf> (25.07.14) Instron Corporation (2004)
106. **Zambon JJ**: *Actinobacillus actinomycetemcomitans* in human periodontal disease. *J Clin Periodontol* 12: 1-20 (1985)
107. **Zappa U**, Cadosch J, Simona C, Graf H, Case D: In vivo scaling and root planing forces. *J Periodontol* 62: 335-340 (1991 a)
108. **Zappa U**, Röthlisberger JP, Simona C, Case D: In vivo scaling and root planing forces in Molars. *J Periodontol* 64: 349-354 (1993)
109. **Zappa U**, Smith B, Simona C, Graf H, Case D, Kim W: Root substance removal by scaling and root planning. *J Periodontol* 62: 750-754 (1991 b)
110. **Zucchelli G**, Mounssif I, Stefanini M, Mele M, Montebugnoli L, Sforza NM: Hand and ultrasonic instrumentation in combination with root-coverage surgery: A comparative controlled randomized clinical trial. *J Periodontol* 80: 577-585 (2009)

8 Anhang

8.1 Zur klinischen Studie

Auflistung der Behandlungstage

Tag 1:	Mittwoch, 31.07.12 (Staatsexamen)
Tag 2:	Donnerstag, 01.08.12 (Staatsexamen)
Tag 3:	Mittwoch, 07.08.12 (Staatsexamen)
Tag 4:	Donnerstag, 08.08.12 (Staatsexamen)
Tag 5:	Montag, 10.09.12 (DH-Schulung)
Tag 6:	Dienstag, 11.09.12 (DH-Schulung)
Tag 7:	Dienstag, 18.09.12 (DH-Schulung)
Tag 8:	Mittwoch, 19.09.12 (DH-Schulung)
Tag 9:	Donnerstag, 20.09.12 (DH-Schulung)
Tag 10:	Freitag, 21.09.12 (DH-Schulung)
Tag 11:	Dienstag, 12.02.13 (Staatsexamen)
Tag 12:	Mittwoch, 13.02.13 (Staatsexamen)
Tag 13:	Freitag, 1.3.13 (DH-Schulung)
Tag 14:	Montag, 4.3.13 (DH-Schulung)
Tag 15:	Dienstag, 5.3.13 (DH-Schulung)
Tag 16:	Mittwoch, 6.3.13 (DH-Schulung)
Tag 17:	Donnerstag, 7.3.13 (DH-Schulung)
Tag 18:	Freitag, 8.3.13 (DH-Schulung)
Tag 19:	Dienstag, 23.07.13 (Staatsexamen)
Tag 20:	Mittwoch, 24.07.13 (Staatsexamen)
Tag 21:	Dienstag, 11.02.14 (Staatsexamen)
Tag 22:	Mittwoch, 12.02.14 (Staatsexamen)
Tag 23:	Dienstag, 25.02.14 (ZMF-Schule)
Tag 24:	Mittwoch, 26.02.14 (ZMF-Schule)
Tag 25:	Donnerstag, 27.02.14 (ZMF-Schule)
Tag 26:	Freitag, 28.02.14 (ZMF-Schule)

Dokumentationstabelle

		Intensität 1	Intensität 2	Intensität 3	Intensität 4	Intensität 5	Intensität 6	Intensität 7	Intensität 8	Intensität 9
American Eagle, Edelstahl (N=397)	Keine Abstumpfung	53	4	3	23	72	2	6	12	15
	Leichte Abstumpfung	12	6	0	12	59	10	9	17	11
	Starke Abstumpfung	1	0	1	3	23	6	5	16	16
American Eagle, TiN- beschichtet (N=322)	Keine Abstumpfung	41	14	0	33	74	20	17	37	31
	Leichte Abstumpfung	2	1	0	9	17	2	4	7	11
	Starke Abstumpfung	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Deppeler, Edelstahl (N=197)	Keine Abstumpfung	26	12	7	16	24	5	5	2	0
	Leichte Abstumpfung	12	2	1	13	18	4	5	1	0
	Starke Abstumpfung	6	0	0	7	15	1	6	9	0
Hu-Friedy, Edelstahl (N=460)	Keine Abstumpfung	68	19	2	59	82	10	3	15	12
	Leichte Abstumpfung	10	7	2	22	30	11	10	23	14
	Starke Abstumpfung	0	4	0	3	8	5	5	20	16
Hu-Friedy, kryogen vergütet (N=400)	Keine Abstumpfung	79	9	1	37	47	7	8	28	18
	Leichte Abstumpfung	7	3	1	24	30	5	3	10	16
	Starke Abstumpfung	2	0	0	7	23	6	1	14	14

Tabelle 24: Dokumentation der Häufigkeitereignisse „keine Abstumpfung“, „leichte Abstumpfung“ und „starke Abstumpfung“ hinsichtlich der unterschiedlichen Intensitäten pro Kürettenmarke. Intensität 1 entspricht einem Instrumenteneinsatz zwischen 10 und 14 Minuten bei leichter Beanspruchung der Schneidekante, Intensität 2: zwischen 14 und 16 Minuten bei leichter Beanspruchung, Intensität 3: zwischen 16 und 20 Minuten bei leichter Beanspruchung, Intensität 4: zwischen 10 und 14 Minuten bei mittlerer Beanspruchung, Intensität 5: zwischen 14 und 16 Minuten bei mittlerer Beanspruchung, Intensität 6: zwischen 16 und 20 Minuten bei mittlerer Beanspruchung, Intensität 7: zwischen 10 und 14 Minuten bei starker Beanspruchung, Intensität 8: zwischen 14 und 16 Minuten bei starker Beanspruchung und Intensität 9: zwischen 16 und 20 Minuten bei starker Beanspruchung. N ist die Anzahl der durchgeführten Einzelversuche.

8.2 Zum standardisierten Versuch

Dokumentationstabelle

Hersteller und Material	Nummer der Schneidekante	Arbeitszüge mit 3 Newton Belastung		
		Visuell erste Abnutzungserscheinungen	Mechanisch erste Abnutzungserscheinungen	Als "stumpf" bewertet
Aesculap (Edelstahl)	104a	5	15	75
	104b	5	5	75
	105a	5	10	85
	105b	5	15	90
Ameican Eagle (Edelstahl)	98a	10	20	105
	98b	10	15	110
	99a	10	20	120
	99b	5	15	110
American Eagle (TiN-beschichtet)	100a	10	160	950
	100b	15	110	790
	101a	10	50	515
	101b	10	70	460
Carl Martin (Edelstahl)	106a	5	5	25
	106b	5	5	30
	107a	5	5	25
	107b	5	5	25
Deppeler (Edelstahl)	108a	5	25	45
	108b	10	25	50
	109a	10	20	45
	109b	5	25	55
Hu-Friedy (Edelstahl)	94a	10	20	120
	94b	10	25	120
	95a	10	20	110
	95b	10	15	120
Hu-Friedy (kryogen vergütet)	96a	25	35	200
	96b	30	35	180
	97a	25	30	190
	97b	20	30	200
LM (kryogen vergütet)	102a	15	25	85
	102b	10	10	80
	103a	5	10	85
	103b	10	20	95

Tabelle 25: Dokumentation der jeweiligen Anzahl an standardisierten Arbeitszügen pro Schneidekante, nach der die Ereignisse „visuell erste Abnutzungserscheinungen“, „mechanisch erste Abnutzungserscheinungen“ und „stumpf“ auftraten

9 Danksagung

Bei allen, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen und die Durchführung der klinischen Studie ermöglicht haben, möchte ich mich ganz herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Reinhard Hickel für die Überlassung des Dissertationsthemas. Auch möchte ich mich besonders bei Herrn Dr. Peter Wöhrle für die freundliche Betreuung der Arbeit bedanken. Seine fortwährende Unterstützung und seine wegweisenden und kreativen Ideen haben wesentlich zum Entstehen der Arbeit beigetragen.

Herrn Dr. Alexander Crispin am Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie in München danke ich für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Außerdem möchte ich auch meinen Eltern herzlich danken, die mir das Studium der Zahnheilkunde ermöglichten und mir während der Anfertigung der Dissertation stets unterstützend und liebevoll zur Seite standen.

Eidesstattliche Versicherung

Zwirlein, Jasmin

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema
Untersuchung über die Abnutzung von Küretten

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin/Doktorand